Paradygmat Turinga

Kazimierz Trzęsicki

2 grudnia 2021

Spis treści

1 Wstęp **2**

2 Zapis binarny **3**

3 Świat zbudowany z liczb **5**

4 Nowoczesne przyrodoznawstwo **6**

5 Idea algorytmu **10**

6 Rzeczywistość a informacja **14**

7 Pojęcie paradygmatu i jego implementacje **18**

8 Świat tworzony przez algorytmy **20**

9 Paradygmat algorytmiczny w nauce **25**

9.1 Czy paradygmat Turinga jest owocny? 25
9.2 Poznanie umysłu 27
9.3 Przewidywanie 29
9.4 Ruch maszyny a ewolucja algorytmiczna 30
9.5 Rozwój nauki 32

10 Zakończenie **35**

Literatura **36**

Tolle numerum omnibus rebus, et omnia pereunt.
Odbierz wszystkiemu liczbę, a wszystko przepadnie.

Św. Izydor z Sewilli, patron Internetu
Etymologiarum sive originum (1911, Liber III, De mathematica, IV. Quid praestent numeri)

Streszczenie

Rozwój nauki dokonuje się nieliniowo, a poszczególne etapy wyróżnia charakterystyczny paradygmat badań naukowych. Według paradygmatu Galileusza właściwym językiem wiedzy jest język matematyki. Według paradygmatu Turinga właściwym językiem wiedzy jest język algorytmiki. Wskazujemy źródła i początki paradygmatu Turinga oraz niektóre problemy, jakie w jego ramach są formułowane i rozwiązywane.

Scientific knowledge is acquired according to some paradigm. Galileo said that the Book of nature is written in mathematical language and it cannot be understood unless one first understands the language and recognizes the characters with which it is written. We argue that the seeds of algorithmic paradigm was planted by Turing. Turing's paradigm says that the Book of nature is written in algorithmics language and the aim of science is to acquire the knowledge how the algorithms change the physical, social and human universe. Some sources of Turing paradigm are pointed. A few examples of application of Turing paradigm are discussed.

Keywords: Galileo Galilei, Alan Turing, Konrad, Zuse, zero, Arabic numeral, paradigm, mathematics, algorithmics

1 Wstęp

Nauka uprawiana jest zgodnie z jakimś wzorcem, paradygmatem. Paradygmat jest historycznie zmienny. Miejsce jednego paradygmatu zajmuje ten, który umożliwia pełniejsze rozumienie i lepszy opis pozyskanych informacji. Paradygmat Arystotelesa wiedzy naturalnej został zastąpiony przez paradygmat, który zwykliśmy wiązać z Galileuszem. Według tego paradygmatu tworzona była współczesna nauka (science). Wyznaczony przez Arystotelesa paradygmat logiki trwał do czasu Gottloba Frege. Grecki paradygmat matematyki został zastąpiony przez paradygmat, który możemy wiązać z Kar-

tezjuszem. Czy paradygmaty współczesnej nauki nie mają charakteru historycznego, czy dalsze badania nie doprowadzą do nowych wzorców uprawiania nauki? Filozofia informatyczna postuluje nowy paradygmat, który nazywam paradygmatem Turinga. Paradygmat Turinga zdaje się lepiej i pełniej ujmować wiedzę obszarach, w których dominuje paradygmat Galileusza, ale i o obszarach, w których paradygmat Galileusza napotyka różnorodne ograniczenia.

Kluczowymi pojęciami filozofii informatycznej są pojęcia informacji, algorytmu i sztucznej inteligencji. Gdybyśmy mieli krótko scharakteryzować epokę informatyczną, w której przyszło nam żyć wystarczyłyby trzy terminy: informacja, algorytm, sztuczna inteligencja.

2 Zapis binarny

Idea kodu binarnego ma długą historię (Ligonnière, 1992), (Trzęsicki, 2006b). Leibniz, tworząc swój system binarny, wskazywał poprzednika w osobie trzynastowiecznego matematyka arabskiego Abdallaha Beidhawy.

Około 1600 r. binarną notację stosował angielski astronom Thomas Harriot. O jego osiągnięciach pisze John Shirley (1951):

> Though it is frequently stated that binary numeration was first formally proposed by Leibniz as an illustration of his dualistic philosophy, the mathematical papers of Thomas Harriot (1560–1621) show clearly that Harriot not only experimented with number systems, but also understood clearly the theory and practice of binary numeration nearly a century before Leibniz's time.
>
> Chociaż często stwierdza się, że system binarny po raz pierwszy formalnie zaproponował Leibniz jako zobrazowanie swojej dualistycznej filozofii, matematyczne teksty Thomasa Harriota (1560–1621) jasno pokazują, że Harriot nie tylko eksperymentował z systemami liczbowymi, lecz także rozumiał jasno teorię i praktykę binarnej numeracji blisko na wiek przed czasami Leibniza.

Podobną opinię ma Robert Ineichen (2008):

> He is probably the first inventor of the binary system, as several manuscripts in his legacy show. In the binary system, he uses the numerals 0 and 1 and shows examples of how to move from the decimal system

to the binary system and *vice versa* (*conversio* or *reductio*). Using further examples, he demonstrates the basic arithmetic operations.

> Prawdopodobnie jest on [Harriot] pierwszym pomysłodawcą binarnego systemu, jak ukazuje to szereg pozostawionych przez niego manuskryptów. W systemie binarnym używa numerałów 0 i 1 i podaje przykłady jak przejść z systemu dziesiętnego do systemu binarnego i *vice versa* (*conversio* lub *reductio*). Podając dalsze przykłady, demonstruje podstawowe operacje arytmetyczne.

Ineichen jako pierwszy tekst na temat systemu binarnego wskazuje opublikowane w 1670 r. dwutomowe dzieło *Mathesis biceps vetus et nova* (1670) autorstwa Juana Caramuela y Lobkowitz (Ioannis Caramuelis). W związku z tymi pracami Harriota i Caramuela stawia się pytanie, czy Leibniz dokonał plagiatu. Na pytanie to udziela się odpowiedzi pozytywnej (Ares, Lara, Lizcano, & Martínez, 2018).

Pierwszego binarnego zakodowania znaków alfanumerycznych dokonał Giuseppe Peano. W latach 1887–1901 zaprojektował abstrakcyjną maszynę stenograficzną opartą na kodowaniu binarnym wszystkich sylab języka włoskiego. Razem z fonemami za pomocą 16 bitów (miał więc 65 536 kombinacji), zakodowane było 25 liter alfabetu (włoskiego) i 10 cyfr. Kod Peany nie został zauważony i był zapomniany.

Użycie kodu binarnego nie było oczywiste. Ukończony latem 1946 r. amerykański *ENIAC*, inaczej niż kodowane binarnie *Z3*, *ABC* i *Colossus*, bazował na arytmetyce dziesiętnej.

O korzystaniu w komputerach z systemu binarnego ostatecznie przesądził *Burk-Goldstine-Von Neuman Report* (1987, s. 105) z 1947 r., w którym czytamy:

> An additional point that deserves emphasis is this: An important part of the machine is not arithmetical, but logical in nature. Now logics, being a yes-no system, is fundamentally binary. Therefore, a binary arrangement of the arithmetical organs contributes very significantly towards a more homogeneous machine, which can be better integrated and is more efficient.

> Dodatkowy punkt, który zasługuje na podkreślenie jest następujący: Ważna część maszyny nie jest natury arytmetycznej, lecz logicznej. Obecnie logika, będąc systemem tak-nie, jest zasadniczo binarna. Dlatego binarne zorganizowanie urządzeń arytmetycznych znacząco

wpływa na większą homogeniczność maszyny, która może być lepiej zintegrowana i jest bardziej wydajna.

3 Świat zbudowany z liczb

Najpiękniejszy jest przedmiot
którego nie ma.

Zbigniew Herbert
Studium przedmiotu

Idea liczby jako zasady świata ma swego protagonistę w osobie Pitagorasa, który głosił: Liczba jest zasadą, źródłem i korzeniem wszystkich rzeczy (Guthrie & Fideler, 1987, s. 21). Twierdził, że każdej istniejącej rzeczy odpowiada wartość numeryczna, a w średniowieczu wyrażało to scholastyczne: dictum omne ens est scibile (wszystkie byty są poznawalne)[1] (Cherry, 2017, s. 135–136). Taka koncepcja liczby jako zasady świata znajduje nowe skojarzenia, kiedy pojawia się idea zera.

W styczniu 1697 Leibniz wraz z życzeniami urodzinowymi do swego protektora księcia Rudolfa Augusta z Brunszwika (Herzog von Braunschweig-Wolfenbüttel Rudolph August) przesłał list[2], w którym omawia system binarny i ideę stworzenia z 0 jako nicością i 1 jako Bogiem (Swetz, 2003).

Dla Leibniza (1697) nicość i ciemność odpowiadają zeru, zaś promieniujący duch Boga odpowiada jedynce. Uważał bowiem, że wszystkie kombinacje powstają z jedności i nicości, co jest podobne temu, gdy mówi się, że Bóg uczynił wszystko z niczego i że były tylko dwie zasady: Bóg i nicość. Zaprojektował medal, którego motywem przewodnim było *imago creationis* i *ex nihil ducendis Sufficit Unum*. Jedynce odpowiada Słońce, które promieniuje na bezkształtną ziemię, zero.

Koncepcja, że wszystko jest stworzone z 0 i 1 jest powodem, dla którego twórca algorytmicznej teorii informacji Gregory Chaitin — jak pisze nie całkiem na serio — proponuje nazwać podstawową jednostkę informacji nie „bit” lecz „leibniz” (G. J. Chaitin, 2004; Trzęsicki, 2006a):

> all of information theory derives from Leibniz, for he was the first to emphasize the creative combinatorial potential of the 0 and 1 bit, and how everything can be built up from this one elemental choice, from these two elemental possibilities. So, perhaps not entirely seriously, I should propose changing the name of the unit of information from the bit to the leibniz!

> cała teoria informacji wywodzi się z Leibniza, ponieważ on pierwszy podkreślił kreatywny kombinatoryczny potencjał bitu 0 i 1 , i jak wszystko może być zbudowane przez ten jeden elementarny wybór, z tych dwu elementarnych możliwości. Tak, być może nie całkiem na serio, powinienem zaproponować zmianę nazwy jednostki informacji z bit na leibniz!

Jednostka „leibniz” mogła by być jednostką (parcel), o której pisał Hobbes.

Leibniz był przekonany, że świat urządzony jest zgodnie z zasadami matematyki. Myśl tę skrótowo wyraża zdanie (1890a, s. 191)[3]:

> *Cum Deus calculat et cogitationem exercet, fit mundus*

> Gdy Bóg przemyśliwa rzeczy i rachuje, staje się świat.

Matematyka jest narzędziem Konstruktora świata a liczby są materiałem, z którego świat jest stworzony.

Współcześnie ideę świata jako stworzonego z przedmiotów matematycznych, Mathematical Universe Hypothesis, głosi kosmolog Max Tegmark (2008, 2014). Przedmioty matematyczne istnieją w ‘platońskim niebie’. Dla wszechświata są bardziej podstawowe niż atomy i elektrony.

4 Nowoczesne przyrodoznawstwo

Idea matematyczności świata legła u podstaw nowoczesnego przyrodoznawstwa, a początki zwykło wiązać się z wystąpieniem Galileusza, który głosił, że księga natury zapisana jest językiem matematyki.

Ukształtowanie nowoczesnego paradygmatu nauki w zakresie tego, co nazywano wówczas „filozofią naturalną”, w istocie było wskrzeszeniem koncepcji Archimedesa (Heller, 2013, s. 71, s. 77). Ta idea trwa też w średniowieczu. Roger Bacon (ur. ok. 1214, zm. 1292) w *Opus Majus* (2010, Pars Quarta, Distinctio Prima, Capitulum I) podkreśla, że:

> Et sunt quatuor scientiae magnae, sine quibus caeterae scientiae sciri non possunt, nec rerum notitia haberi: quibus scitis, potest quilibet gloriose proficere in sapientiae potestate sine difficultate et labore, non solum in scientiis humanis, sed divina. Et cuiuslibet istarum tangetur virtus non solum propter sapientiam absolute, sed respectu caeterorum praedictorum. Et harum scientiarum porta et clavis est mathematica, quam sancti a principio mundi invenerunt, ut ostendam, et

> quae semper fuit in usu omnium sanctorum et sapientum prae omnibus aliis scientiis. Cuius negligentia jam per triginta vel quadraginta annos destruxit totum studium Latinorum. Quoniam qui ignorat cam non potest scire caeteras scientias nec res huius mundi, ut probabo. Et, quod peius est, homines eam ignorantes non percipiunt suam ignorantiam, et ideo remedium non quaerunt. Ac per contrarium huius scientiae notitia, praeparat animum et elevat ad omnium certificatam cognitionem, ut si radices sapientiae datas circa illam cognoscat, et eas radices recte applicet ad caeterarum scientiarum et rerum cognitiones, tunc omnia sequentia poterit scire sine errore et sine dubitatione, ac de facili et potenter.

Są cztery wielkie nauki, bez których inne nie mogą być poznane i nie można pojąć znaczenie rzeczy. A kiedy są znane, wówczas osiągnie się mądrość bez trudu i pracy, nie tylko w naukach człowieka, lecz również w boskich. A możliwości każdej z tych nauk ujawniają się nie tylko ze względu na samą mądrość, lecz także w stosunku do wyżej powiedzianego. A bramą i kluczem do tych nauk jest matematyka, której, jak pokażę, inwencja jest dziełem Świętego na początku świata, i która zawsze była stosowana przez wszystkich świętych i mędrców przed wszystkimi innymi naukami. Jej zaniedbanie przez trzydzieści lub czterdzieści lat doprowadziło do destrukcji całego Studium Latinorum. Co udowodnię, ci, którzy nie znają matematyki, nie mogą znać innych nauk i spraw tego świata. A co gorsza, ludzie, którzy jej nie znają, nie mają poczucia własnej ignorancji i dlatego nie szukają na nią remedium. Przeciwnie, którzy mają tej wiedzy znajomość przygotowują duszę i wynoszą ją do wszelkiej rzetelnej wiedzy, dzięki czemu mogą poznawać bez błędu i wątpliwości, lekko i rzetelnie.

Galileusz uzasadnia heliocentryzm, powołując się na egzegezę *Biblii* opartą na doktrynie św. Augustyna, w szczególności jego *De Genesi ad litteram*[4] (Sibley, 2013, s. 73). W tej tradycji, której wyraźne określenie znajdujemy u Galileusza, księga natury powinna być czytana raczej za pomocą narzędzi matematycznych aniżeli tych, które ma filozofia scholastyczna. Księga przyrody została napisana językiem matematyki, zatem musi być interpretowana przez matematyków, a nie przez teologów. Księga natury jako matematyka zawiera niepodlegające dyskusji prawdy.

Galileusz (1623, s. 4) głosi, że:

> Filozofia [tj. fizyka] jest zapisana w tej wielkiej księdze — mówię o wszechświecie — która stale stoi przed naszym wzrokiem, lecz nie

> może być zrozumiana dopóki ktoś pierwszy nie nauczy się rozumieć języka i interpretować znaków, którymi jest napisana. Jest napisana językiem matematyki, a jej znakami są trójkąty, okręgi i inne figury geometryczne, bez których po ludzku nie jest możliwe zrozumienie jednego słowa z niej; bez tego, wędruje się wkoło w ciemnościach labiryntu.

Galileusz powie, żeby się uczyć języka matematyki, bo jest językiem, którym mówi Bóg (Wouk, 2010; Strogatz, 2019). Hall (1956), (1966, s. 205) twierdzi, że:

> nikt przedtem nie rozszerzył matematycznych metod rozumowania na ruchy rzeczywistych ciał i nikt nie ośmielił się głosić, że metoda ta była słuszna w całej fizyce, że była to jedyna słuszna metoda.

Dodajmy, że Galileusz postrzega jeszcze matematyczność przyrody jako jej geometryczność — taka była tradycja pitagorejska. To zmieni dopiero Kartezjusz, algebraizując geometrię. Dopiero po Kartezjuszu odrzucono głoszoną w *Analitykach wtórych* przez Arystotelesa tezę, że arytmetycznie nie można dowieść prawd geometrycznych. Po Kartezjuszu matematyka — co miało istotne znaczenie dla rozwoju nauki — stała się wiedzą o funkcjach i operacjach, a nie tylko jak wcześniej o liczbach.

Kartezjusz jako chorowite dziecko miał przywilej późnego wstawania. Ten zwyczaj zachował jako osoba dorosła. Wykorzystał to współczesny Kartezjuszowi niemiecki filozof Daniel Lipstropius i wymyślił opowiastkę, jak Kartezjusz powziął ideę tego, co nazywamy kartezjańskim układem współrzędnych (Mazur, 2014, s. 111-112). Na tę wspaniałą rewolucyjną dla matematyki ideę miał Kartezjusz — według tej opowiastki — wpaść wpatrzony w pełzające po suficie muchy w swojej sypialni w La Flèche w 1636 r. Zauważył mianowicie, że pozycję muchy można jednoznacznie określić przez jej odległości od ścian.

Newton tworzy rachunek różniczkowy i całkowy, bo jest to język, którym napisana jest księga natury. Rachunek różniczkowy i całkowy tworzy również Leibniz. Na marginesie dodajmy, że Newton zarzucił mu plagiat. Tak się jednak składa, że Leibniz, geniusz tworzenia symboli (Mazur, 2014, The Symbol Master, s. 165–168) — mając większe zrozumienie dla wyboru języka — nadał swojej wersji taką reprezentację językową, która zaowocowała rozwojem, co nie powiodło się w przypadku ujęcia proponowanego przez Newtona. Charles Babbage, twórca mechanicznego pierwszego programowalnego

komputera, dostrzegając w zakresie rachunku opóźnienie matematyki angielskiej w stosunku do francuskiej, podjął się tłumaczenia tekstów francuskich z matematyki (Trzęsicki, 2006c). Pisał (1864, 2008):

> Under these circumstances it was not surprising that I should perceive and be penetrated with the superior power of the notation of Leibniz.

> W tych okolicznościach nie było nic zaskakującego, że powinienem pojąć i rozważyć z najwyższą uwagą notację Leibniza.

Dla Izaaka Newtona i innych filozofów tego okresu matematyczne wyrażenie filozoficznych koncepcji obejmowało również naturalne ludzkie relacje: te same prawa poruszały fizyczną i duchową rzeczywistość. Dla ludzkich zachowań wskazywano modele matematyczne. W przypadku Pascala jest to np. słynny zakład: racjonalna osoba powinna żyć jak gdyby Bóg istniał. Jeśli Bóg nie istnieje, to osoba ta ma skończone straty (jakieś przyjemności, luksus, itp.), a jeśli istnieje, zyskać może nieskończenie wiele (nieskończone szczęśliwe życie w niebie) i uniknąć nieskończonych strat (wieczność w piekle). Zakład jest pierwszym przykładem formalnego wykorzystania teorii decyzji.

Gottfried Leibniz (1679, 1697) matematycznie modeluje stworzenie i tworzenie świata (Trzęsicki, 2006c, 2006b, 2020a). Za Hobbesem głosi koncepcję myślenia jako rachunku: cogitatio est calculatio (Leibniz, 1666). To wszystko jest spójne z koncepcją Boga jako tego, który rachując stwarza świat. Matematyka jest narzędziem Konstruktora świata a liczby są tworzywem, z którego świat jest uformowany. Jest to Bóg, którego logika jest taka sama jak człowieka.

Zdaniem Johannesa Keplera również anioły poruszają planety zgodnie z modelem matematycznym.

Ideę Boga (Boga Spinozy) jako „matematyka" głosi Einstein (Infeld, 1980, s. 279):

> God does not care about our mathematical difficulties. He integrates empirically.

> Bóg nie martwi się naszymi matematycznymi trudnościami. On całkuje empirycznie.

Jest to (Heller, 2014, s. 41):

> Fundamentalna hipoteza, przyjmowana milcząco w samej metodzie współczesnych zmatematyzowanych nauk empirycznych [która] głosi, że w materialnym świecie nie ma niczego, czego nie dałoby się opisać matematycznie.

Poszerzenie idei matematyczności natury na inne dziedziny głosiło wielu, np. Nicolas de Condorcet mówił o zastosowaniu rachunku różniczkowego i całkowego do nauk społecznych i politycznych. Polityka miałaby się wówczas stać racjonalna.

W okresie przed rewolucją naukową, wychodzono z założenia, że natura jest racjonalna, bo Bóg, jej stwórca, jest racjonalny. Po rewolucji odkryto racjonalność natury w niej samej. Badanie świata naturalnego nie jest już poznawaniem Boga. Natura jest mechanizmem. Kepler pisał, że *caelestic machina* była nie *instar divini animalis, sed instar horologii* a Galileusz często wypowiadał się podobnie, szczególnie w swoim słynnym adagio *universum horologium est*, wszechświat jest zegarem. Bóg jest inżynierem. Byłby złym inżynierem, a nie jest, gdyby nieustannie angażował się w działania tego mechanizmu. Ostatecznie, staje się zbyteczny. Pierre Simon de Laplace zaprezentował Napoleonowi *Systeme du Monde*. Ten zapytał go: "Napisałeś olbrzymią książkę o systemie świata bez jakiejkolwiek wzmianki o Stwórcy wszechświata?" Laplace odpowiedział: Sir, nie potrzebowałem żadnej takiej hipotezy; 'Je n'avais pas besoin de cette hypothése-lá.' Napoleon powiedział o tym Joseph-Louis Lagrange, który wykrzyknął: 'Ah! c'est une belle hypothêse; ça explique beaucoup de choses.' (De Morgan, 1872, s. 249–250).

5 Idea algorytmu

Idea algorytmu przenika wszelkie nauki, a piękno algorytmicznego ujęcia koreluje z łatwością rozumienia.

Różne algorytmy były używane jeszcze przed naszą erą. Babilońscy matematycy już ok. 2500 r. p.n.e., a egipscy ok. 1500 r. p.n.e. obliczali iloraz algorytmicznie. Greccy matematycy korzystali z sita Eratostenesa dla znajdowania liczb pierwszych, a z algorytmu Euklidesa dla znajdowania największego wspólnego dzielnika. W IX w. Arabii używano algorytmów kryptograficznych dla deszyfracji.

Nazwa „algorytm" wywodzi się od nazwiska urodzonego na terenach obecnego Uzbekistanu matematyka perskiego Abu Abdullaha Muhammada ibn Musy al-Chuwarizmiego, a raczej jego zlatynizowanej wersji „al-Chwarizmi" (Knuth, 1997, s. 1). Łacińskie „algorithmus" powstało z kombinacji „algorism" i greckiego „arithmós" (liczba) (Marciszewski, 1981, s. 14). „Algorithmus" (algorismus) oznaczało wykonywanie operacji arytmetycznych na liczbach zapisanych cyframi arabskimi w odróżnieniu od wykonywania tych

operacji na liczbach zapisanych cyframi rzymskimi.

Robert z Chester, który był pierwszym tłumaczem na łacinę dziś już zaginionej książki al-Chwarizmi (1969, s. 411), swój przekład — odnaleziony w XIX w. — zaczyna słowami:

> *Dixit Algoritmi: laudes deo rectori nostro atque defensori dicmus dignas.*
>
> Algoritmi powiedział: niech pochwalony będzie Bóg, nasz Pan i Wspomożyciel.

Około 1143 r. (Menninger, 1958, s. 411) dokonane zostało streszczenie tego dzieła dzisiaj znane jako *Kodeks z Salem* (*Salem Codex*) (Cantor, 1865). Na początku czytamy:

> *Incipit liber algorizmi: omnis sapientia sive scientia a domine Deo; sicut scriptum est: Hoc quod continent omnia scientiam habet, et iterum: Omnia in mensura et pondere et numero constituisti.*
>
> Wstęp do księgi algorytmu. Wszelka mądrość i wszelka wiedza pochodzi od Boga naszego Pana; jak jest napisane: [Mdr 1:7] Ten, który ogarnia wszystko ma pełnię wiedzy, i dalej: [Mdr 11:20] Wszystko urządził według miary i liczby, i wagi!

Jak zauważa się zastosowana forma gramatyczna dowodzi, że autor nie miał świadomości, że chodzi o nazwisko (Cantor, 1865, s. 14, przypis 1) . W tym tekście nazwa „algorizmi" została po raz pierwszy — w zachowanym piśmiennictwie — użyta na oznaczenie procedury:

> Der Gebrauch des Nominativus *algorizmus* beweist, dass das Bewusstsein, dass *Algorizmus* der Name eines Mannes sei, bei dem Verfasser der Abhandlung schon verloren gegangen war. Er hielt offenbar dieses Wort für den Namen der Rechenkunst selbst.
>
> Użycie nominatiwu *algorizmus* dowodzi, że świadomość, że *Algorizmus* było czyimś imieniem, była już zagubiona przez autora tej rozprawki. W oczywisty sposób traktuje to słowo jako nazwę sztuki rachowania.

Zastanawiające, czy autor *Kodeksu z Salem* odwołuje do wszechogarniającej wiedzy Boga, aby było wzniośle, bo taki był obyczaj, czy ma jakieś przeczucie roli i miejsca algorytmów w dziele stworzenia. Jeśli to drugie, to można wskazywać go jako tego, kto antycypował podstawową ideę filozofii informatycznej, czyli, że dzianiem się świata kierują algorytmy.

W wierszu łacińskim napisanym dla potrzeb dydaktyki, a przypisywanym Aleksandrowi de Villa Dei (Alexander de Villedieu) *Carmen de Algorismo* lub *Algorismus metricus*[5] czytamy:

> Hinc incipit algorismus.
> Haec algorismus ars praesens dicitur in qua
> Talibus Indorum fruimur bis quinque figuris
> 0 9 8 7 6 5 4 3 2 1,
>
> Tu zaczyna się algorytm.
> Ta nowa sztuka jest nazwana algorytmem, w którym
> z tych dwukrotnie pięciu cyfr
> 0 9 8 7 6 5 4 3 2 1,
> od Hindusów czerpiemy taką korzyść.

Algorytmy pozostają w związku ze sposobem kodowania informacji. Inaczej mówiąc, zmiana sposobu kodowania może wiązać się ze zmianą algorytmu. Może być tak, że ta zmiana jest radykalna — jak można przypuszczać — jak jest to w przypadku algorytmów fizycznych przetwarzających kod biologiczny. Dodajmy za Marciszewskim (2011, s. 199–200), że przez algorytmy fizyczne rozumiemy algorytmy sterujące przetwarzaniem informacji, dokonującemu się w rzeczywistości fizycznej — te, które przetwarzają informację składającą się na świat — w odróżnieniu od algorytmów symbolicznych, które piszemy i za pomocą, których komputery przetwarzają informację przez nas zakodowaną. Algorytmy naturalne realizują obliczenia naturalne. Obliczenia poznawcze, te, których my dokonujemy, przeprowadzamy za pomocą algorytmów symbolicznych.

Algorytmy nie tylko powinny — co jest oczywiste — być poprawne, czyli dawać na wyjściu prawdziwy wynik, ale nadto jak mówi Knuth (1997, s. 7):

> we want good algorithms in some loosely defined aesthetic sense. One criterion [...] is the length of time taken to perform the algorithm [...] Other criteria are adaptability of the algorithm to computers, its simplicity and elegance, etc.
>
> chcemy dobrych algorytmów w pewnym luźnie określonym sensie estetycznym. Jednym z kryteriów [...] jest długość czasu, jaki zabiera wykonanie tego algorytmu [...] Innymi kryteriami są adaptowalność programu do komputerów, jego prostota i elegancja, etc.

Chaitin (2005, s. 27) precyzuje pojęcie elegancji programu:

> a program is 'elegant,' by which I mean that it's the smallest possible program for producing the output that it does.
>
> ‘elegancki’ program to taki, który, tak rozumiem, jest najmniejszym możliwym programem dla wytworzenia danych wyjściowych.

Jednocześnie dodaje, że:

> I'll show you can't prove that a program is 'elegant' — such a proof would solve the Halting problem.
>
> Pokażę, że nie możemy dowieść elegancji programu — taki dowód byłby rozwiązaniem problemu stopu.

Piękno algorytmów naturalnych jak i ich dostępność dla ludzkiego umysłu jest dziedziczona przez algorytmy symboliczne.

Definicja algorytmu jest dziełem matematyków i logików XX w. Potrzeba takiej definicji ujawniła się w związku z programem Hilberta, który postulował tworzenie matematyki przez formalne przekształcenia symbolicznej reprezentacji wiedzy matematycznej. Te przekształcenia miały być takie, aby nie było sporu co do ich poprawnej realizacji. Ponadto, co jest jasne, miały prowadzić od prawdziwych zdań matematycznych do prawdziwych zdań matematycznych, czyli w ten sposób miała być wykluczona ewentualna sprzeczność, jeśli wyjściowe dane nie były sprzeczne. Przynależność jakiegoś zdania do zbioru twierdzeń miała być rozstrzygana formalnie. Takie postawienie sprawy wymagało sprecyzowania pojęcia metody formalnej, która byłaby narzędziem realizacji takiego przedsięwzięcia. Wśród propozycji — które okazały się równoważne — szczególne uznanie znalazła koncepcja opracowana przez Alana Turinga zwana dzisiaj maszyną Turinga. Algorytm to procedura, która jest wykonywalna za pomocą maszyny Turinga.

Choć koncepcja tak określonego algorytmu odniosła sukces, nie oznacza to, że zaprzestano — w tym również Turing (1950) — rozważań nad modyfikacją pojęcia algorytmu.

Dodajmy, że (angielskie) słowo „computer” jeszcze w XIX w., a nawet w 1936 r. — kiedy Turing opublikował *On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem* (1936–37) — było używane na wskazanie urzędnika, który wykonywał uciążliwe numeryczne obliczenia (Copeland, Bowen, Sprevak, & Wilson, 2016, s. 446). Tak rozumiane „computer” oznaczałoby rachmistrza. Teksty po polsku, w których „computer” przekładane jest na „komputer” pozbawione są ewentualnych skojarzeń obecnych w tekstach

anglojęzycznych. W szczególności kojarzenie „computer” z „rachmistrz” ma znaczenie dla rozumienia tekstów Turinga.

Jest wiele paraleli między zainteresowaniami Konrada Zuse i Alana Turinga (German & Zenil, 2012, s. 58). Chociaż Zuse i Turing nigdy się nie spotkali, jeden znał prace drugiego (German & Zenil, 2012, s. 60).

6 Rzeczywistość a informacja

Wszystko, co wiemy jest informacją[6]. To, co poznajemy jest informacją. Jak pisze Luciano Floridi (2008, s. 370):

> Reality in itself is not a source but a resource for knowledge.
>
> Sama rzeczywistość nie jest źródłem, lecz zasobem wiedzy.

Nie poznajemy niczego, co nie jest informacją. Jak stwierdza Stehphen Wolfram (2002, s. 389):

> [M]atter is merely our way of representing to ourselves things that are in fact some pattern of information, but we can also say that matter is the primary thing and that information is our representation of that. It makes little difference, I don't think there's a big distinction — if one is right that there's an ultimate model for the representation of universe in terms of computation.
>
> Materia jest jedynie naszym sposobem reprezentacji sobie rzeczy, które w istocie są wzorcami informacji, lecz możemy też powiedzieć, że materia jest rzeczą pierwotną a informacja jest naszą jej reprezentacją. To czyni małą różnice, i nie myślę, że jest to duże rozróżnienie — jeśli ma się rację, że istnieje ostateczny model reprezentacji wszechświata w terminach komputacji.

Pozyskiwana informacja musi być jakoś reprezentowana. Reprezentacja umożliwia jej przechowywanie, komunikowanie i przetwarzanie. Każda informacja może być kodowana zero-jedynkowo. Sposób reprezentacji podporządkowany jest celowi, czemu ma służyć. Jak ujmuje to John Wheeler (1989):

> every physical quantity, every it, derives its ultimate significance from bits, binary yes-or-no indications.
>
> każda fizyczna wielkość, wszystko co jest, wywodzi swoje ostateczne znaczenie z bitów, binarnego tak-lub-nie.

Ta idea wyrażona może być skrótowo: it from bit, gdzie „it” to to, co istnieje, a „bit” odnosi do informacji.

Konrad Zuse (2012a, s. 5) rozwijając koncepcję zdigitalizowanych relacji przestrzennych, ideę rozumienia wszechświata jako komputera, pojęciu informacji przypisuje istotną rolę:

> In current expanded usage, the term “compute” is identical with “information processing.” By analogy, the terms “computer” and “information-processing machine” may be taken as identical.
>
> W bieżącym poszerzonym zastosowaniu, termin „obliczać” jest identyczny z „przetwarzać informację”. Przez analogię jako identyczne mogą być wzięte terminy „komputer” i „maszyna przetwarzająca-informację”.

Zuse był pierwszym kto zasugerował, że stany fizyczne wszechświata są obliczane przez sam wszechświat. Wskazywał na automaty komórkowe. Koncepcję automatów komórkowych opracował John von Neumann w związku ze swoimi poszukiwaniami podobieństw między komputerami a centralnym systemem nerwowym (von Neumann, 1963, 1958; von Neumann & Burks, 1966; Shannon, 1958).

Informacja może być przetwarzana algorytmicznie. Arystoteles, tworząc sylogistykę konstruuje formalny system przetwarzania informacji. Ta idea rozwijana jest w logice formalnej. Zwykle wskazuje się na Gottfried Leibniza, jako tego, który podkreślał i wiązał rozwój wiedzy z zastosowaniami rachunkowego przetwarzania informacji.

Jeśli myślenie jest rachunkiem, a świat stworzony jest z liczb, to do wszelkiej prawdy, do której możemy dojść, dojdziemy drogą rachunkową. Zatem (Leibniz, 1890b, t. 7, s. 200)[7]:

> Quo facto, quando orientur controversiae, non magis disputatione opus erit inter duos philosophos, quam inter duos Computistas. Sufficiet enim calamos in manus sumere sedereque ad abacos, et sibi mutuo (accito si placet amico) dicere: c a l c u l e m u s.
>
> Gdyby spór powstał, dysputa między dwoma filozofami nie wymagałaby większego wysiłku niż między dwoma rachmistrzami. Wystarczyłoby bowiem, aby wzięli ołówki w swoje ręce, usiedli przy swoich tabliczkach i jeden drugiemu (z przyjacielem jako świadkiem, gdyby zechcieli) powiedzieli: P o l i c z m y.

Teza ontologiczna o świecie jako stworzonym przez 1 za pomocą 0 otworzyła nowe perspektywy dla połączenia koncepcji informacji z metafizyką. Zachwalając swoją arytmetykę binarną Leibniz (1990) twierdził:

> tamen ubi Arithmeticam meam Binariam excogitavi, antequam Fohianorum characterum in mentem venirent, pulcherrimam in ea latere judicavi imaginem creationis, seu originis rerum ex nihilo per potentiam summae Unitatis, seu Dei.
>
> jednak gdy wymyśliłem moją arytmetykę binarną, zanim zaznajomiłem się z symbolami Fohy, uznałem w nich najpiękniejszy obraz stworzenia, czyli pochodzenia rzeczy z niczego dzięki najwyższej mocy Jedności, czyli Boga.

Idea ta tak bardzo fascynowała Leibniza, że przekazywał ją ojcu Grimaldi, matematykowi na dworze cesarza Chin w nadziei, że za jej pomocą doprowadzi do nawrócenia cesarza a wraz z nim chrystianizacji całych Chin (Leibniz, 1697).

Rachowanie jest czynnością, w której maszyna może zastąpić człowieka. W 1685 r., omawiając wartość dla astronomów wymyślonej w 1673 r. przez siebie maszyny liczącej, sprawniejszej niż pascalina i wykonywującej wszystkie podstawowe działania arytmetyczne, pisał (Davis, 2001, Rozdz. I: Leibniz's Dream), (Leibniz, 1929, s. 181), że:

> For it is unworthy of excellent men to lose hours like slaves in the labor of calculation which could safely be relegated to anyone else if the machine were used.
>
> Nie jest godne wspaniałego człowieka tracić godziny jak niewolnicy w pracy rachunkowej, która bez obaw może być przekazana komukolwiek, gdyby użyć maszyny.

Charles Babbage, kiedy wraz z kolegą przygotowywał tablice matematyczne, zauważając mnóstwo błędów sfrustrowany miał wykrzyknąć (Swade, 2002):

> I wish to God these calculations had been executed by steam!
>
> Na Boga, chciałbym te rachunki powierzyć parze!

Konrad Zuse w wywiadzie udzielonym Uta Merzbach w 1978 mówił, że kiedy przyszło mu wykonywać żmudne rachunki inżynierskie, myśl[8]:

> It’s beneath a man. That should be accomplished with machines.
>
> To nie jest dla człowieka. To powinno być wykonane przez maszyny.

motywowała go do pojęcia prac nad skonstruowaniem komputera (Copeland et al., 2016, s. 449).

Ten pragmatyczny argument z powyższymi argumentami natury metafizycznej może inspirować informatykę i rozwój jej narzędzi w kierunku sztucznej inteligencji. Wszelka prawda ma bowiem reprezentację liczbową, a myślenie jest reprezentowane przez operacje liczbowe, a to wszystko może wykonać maszyna.

Idea mechanicznego pozyskiwania wiedzy, *ars combinatoria*, mająca dawne korzenie, a w Europie propagowana i rozwijana przez lullystów, czyli tych, którzy nawiązywali do koncepcji Rajmundusa Lullusa (Trzęsicki, 2020b, 2020a), musiała być w XVII w. popularna, jeśli znajdujemy również literackie odniesienia do niej. Jonathan Swift, Irlandczyk, dwadzieścia jeden lat młodszy od Leibniza, w 1726 r. w *Gulliver’s Travels* (1892, 2020) literacko obrazuje taki zamysł:

> The first professor I saw, was in a very large room, with forty pupils about him. After salutation, observing me to look earnestly upon a frame, which took up the greatest part of both the length and breadth of the room, he said, “Perhaps I might wonder to see him employed in a project for improving speculative knowledge, by practical and mechanical operations. But the world would soon be sensible of its usefulness; and he flattered himself, that a more noble, exalted thought never sprang in any other man’s head. Every one knew how laborious the usual method is of attaining to arts and sciences; whereas, by his contrivance, the most ignorant person, at a reasonable charge, and with a little bodily labour, might write books in philosophy, poetry, politics, laws, mathematics, and theology, without the least assistance from genius or study.”
>
> Pierwszy profesor, którego ujrzałem, znajdował się w wielkim pokoju, otoczony przez czterdziestu uczniów. Po przywitaniu się, gdy spostrzegł, że bardzo uważnie oglądam wielką machinę zabierającą większą część pokoju, zapytał, czy nie budzi we mnie zdziwienia, że trudni się udoskonaleniem wiadomości spekulacyjnych za pomocą operacji mechanicznych. Pochlebia sobie, że świat uzna ważność jego wynalazku i że wznioślejsza myśl nigdy w głowie człowieka nie powstała. Wiadomo, jak trudno przychodzi każdemu człowiekowi nauczyć się

kunsztów i umiejętności, lecz dzięki jego wynalazkowi człowiek najbardziej nawet niewykształcony potrafi niewielkim kosztem i po lekkim ćwiczeniu ciała pisać książki filozoficzne, poetyczne, rozprawy o polityce, teologii i matematyce bez najmniejszej pomocy naturalnych zdolności lub nauk.

7 Pojęcie paradygmatu i jego implementacje

Termin „paradygmat" wywodzi się z greki: παράδειγμα (parádeigma), co przekłada się na „przykład", „wzorzec", „szablon" lub „model wyjaśnienia", „widzenie świata", „światopogląd". Termin „paradygmat" spopularyzował Thomas Kuhn w książce *Struktura rewolucji naukowych* (1968, 2011). Jednak termin ten był już używany przez Platona w *Timajosie* na oznaczenie modelu, wzorca, którego użył Demiurg, tworząc kosmos.

W metodologii przez „paradygmat" rozumie się wzorzec rozumowania lub postępowania badawczego w (dojrzałej) dyscyplinie naukowej.

Paradygmat obejmuje filozoficzne i metodologiczne założenia powszechnie i trwale przyjmowane przez uprawiających naukę na jakimś jej etapie rozwoju. Wiedzę dzieli się na paradygmatyczną, czyli naukową, i preparadygmatyczną, czyli przednaukową.

Paradygmat jest wzorcem uprawiania nauki. Nowy wzorzec, nowy paradygmat, odrzuca jako (już) nienaukowe niektóre problemy starej nauki, i nadaje nowy sens tym, które pozostają w nowej nauce. Ponadto, co jest istotne, rozwiązuje problemy, z którymi nauka w uprzedniej wersji paradygmatu sobie nie radziła i wyznacza nowe pytania.

Galileusz głosił — co doprowadziło do wyznaczenia różnego od arystotelesowskiego paradygmatu nauki — że księga natury jest napisana językiem matematyki, dlatego ten język jest właściwy do jej poznania i rozumienia. Matematyczne przyrodoznawstwo uprawiane jest zgodnie z paradygmatem Galileusza.

Zauważmy, że w czasach Galileusza stan wiedzy matematycznej był daleki od tego, jaki jest współcześnie. Matematyka w czasach Galileusza jest różna od tej, którą stosuje dzisiejsza nauka. Rozwój matematyki był sprzężony z postępem przyrodoznawstwa. Na przykład, Newton dla potrzeb swojej „filozofii naturalnej" tworzy rachunek różniczkowy i całkowy.

Tworzenie nauki zgodnie z paradygmatem Galileusza zaowocowało nie tylko głębszym poznaniem świata przyrody, lecz również przyniosło owoce w

postaci technologii, co pociągnęło rozwój przemysłu, a także zmiany stosunków społecznych (Marciszewski & Stacewicz, 2011, s. 141–148).

Filozofia informatyczna głosi, że księga rzeczywistości naturalnej zapisana jest językiem algorytmiki i ten język jest właściwym językiem wiedzy o zarówno zjawiskach przyrodniczych jak i o wszelkich innych dostępnych poznawczo człowiekowi w porządku naturalnym. To podejście wyznacza nowy paradygmat. Nazywamy go „paradygmatem Turinga".

Idea nowego paradygmatu była postawiona przez Konrada Zuse. W jego autobiografii czytamy (Zuse, 2012a, p. 63–64):

> the concept of the computing universe requires a rethinking of ideas, for which physicists are not yet prepared. Yet it is clear that earlier concepts have reached the limits of their possibilities; but no one dares to switch to a fundamentally new track. Yet, with quantization, the preliminary steps towards a digitalization of physics have already been taken; but only a few physicists have attempted to think along the lines of these new categories of computer science. [. . .] This was illustrated quite clearly during the conference on the Physics of Computation, held May 6–8, 1981 [at MIT]. What was typical at this conference was that, although the relationship between physics and computer science, and/or computer hardware, was examined in detail, the questions of the physical possibilities and limits of computer hardware still dominated the discussions. The deeper question, to what extent processes in physics can be explained as computer processes, was dealt with only marginally at this otherwise very advanced conference.

> koncepcja komputerowego wszechświata wymaga ponownego przemyślenia pomysłów, na które fizycy nie są jeszcze przygotowani. Jest jednak jasne, że wcześniejsze koncepcje osiągnęły granice swoich możliwości; ale nikt nie odważy się przestawić na zupełnie nowy tor. Jednak dzięki kwantyzacji podjęto już wstępne kroki w kierunku cyfryzacji fizyki; ale tylko kilku fizyków próbowało myśleć w oparciu o te nowe kategorie informatyki. [. . .] Zostało to dość wyraźnie zilustrowane podczas konferencji Fizyki Obliczeń, która odbyła się w dniach 6–8 maja 1981 [w MIT]. Typowe na tej konferencji było to, że chociaż szczegółowo zbadano związek między fizyką a informatyką i/lub sprzętem komputerowym, kwestie fizycznych możliwości i ograniczeń sprzętu komputerowego nadal dominowały w dyskusjach. Głębsze pytanie, do jakiego stopnia procesy w fizyce można wytłumaczyć jako procesy komputerowe, zostało poruszone na tej, skądinąd bardzo zaawansowanej, konferencji tylko marginalnie.

Paradygmat Turinga nie stoi w sprzeczności z paradygmatem Galileusza, raczej go uściśla i modyfikuje. Jednak ma właściwe dla paradygmatu konsekwencje unieważniając pewne problemy przede wszystkim w obszarze biologii, psychologii oraz socjologii i otwiera perspektywy badań, które — mówiąc swobodnie — nie były widoczne lub nie tak były widoczne z perspektywy paradygmatu Galileusza, jak np. problematyka umysłu, życia społecznego i gospodarczego (Marciszewski & Stacewicz, 2011, Informatyczny sposób myślenia o zagadnieniach społecznych).

Gaston Bachelard (2002) w swojej epistemologii historycznej wprowadził pojęcia bariery epistemologicznej (obstacle épistémologique) i pęknięcia epistemologicznego (rupture épistémologique). Nauka nie rozwija się kumulatywnie. Pęknięcie epistemologiczne — termin spopularyzował Louis Althusser — następuje, kiedy ma miejsce integracja starej teorii do nowego paradygmatu. Można się zgodzić, że tego rodzaju sytuacja realizowana jest przez zastąpienie paradygmatu Galileusza paradygmatem Turinga.

Paradygmat ewolucyjny Darwina zdaje się być nie do uzgodnienia z paradygmatem Galileusza, a komponuje się i wzajemnie uzupełnia z paradygmatem Turinga. Paradygmat Turinga ma w swoim zasięgu nie tylko przyrodoznawstwo, ale wszystko to, co tradycyjnie nazywano filozofią naturalną. Daje możliwości kompleksowych badań samoorganizujących się systemów adaptacyjnych, bez względu na ich typ (fizykalne, biologiczne, społeczne) (Dodig-Crnkovic, 2013).

8 Świat tworzony przez algorytmy

Pojęcie algorytmu jest podstawowe dla paradygmatu Turinga. Nie znaczy to, że pojęcie to jest ostatecznie zdefiniowane i zamknięte na zmiany oraz modyfikacje. Podobnie, jak matematyka w przypadku paradygmatu Galileusza, jest żywe i sprzężone z rozwojem badań. Napisze Marciszewski (2011, s. 164):

> Intuicja intelektualna oraz pomysłowość uczonego są tym, dzięki czemu mogą powstawać nowe algorytmy, które na tyle wzmocnią system informatyczny, że problemy w poprzedniej fazie nierozstrzygalne staną się możliwe do rozstrzygnięcia w sposób algorytmiczny. W nowym systemie powstaną nowe problemy nierozstrzygalne, ale znów jest szansa na pokonanie trudności dzięki twórczej intuicji. Okazuje się więc, ze proces poznawania świata matematycznego z udziałem maszyn nigdy nie zamknięty w sensie posiadania ostatecznych wyni-

> ków, ale nigdy też nie jest zamknięty w sensie niemożności dalszego rozwoju. Możliwy jest rozwój w nieskończoność.

Turing nie tylko podał definicję algorytmu, maszyny Turinga, lecz również wskazał nowe obszary dostosowania pojęcia algorytmu do potrzeb badawczych.

Turing — przynajmniej wśród tych, którzy mieli dorobek naukowy w zakresie algorytmiki — był pierwszym, kto powziął ideę paradygmatu, który określamy jako informatyczny. *Computing Machinery and Intelligence* (1950) może być wciąż źródłem inspiracji w tworzeniu i rozwijaniu paradygmatu informatycznego. Alan Turing, kończąc rozważania w *Computing Machinery and Intelligence* (1950, s. 64) zauważa niedogodności systematycznej metody rozwiązania i pisze:

> We may hope that machines will eventually compete with men in all purely intellectual fields. But which are the best ones to start with? Even this is a difficult decision. Many people think that a very abstract activity, like the playing of chess, would be best. It can also be maintained that it is best to provide the machine with the best sense organs that money can buy, and then teach it to understand and speak English. This process could follow the normal teaching of a child. Things would be pointed out and named, etc. Again I do not know what the right answer is, but I think both approaches should be tried.

> Możemy mieć nadzieję, że maszyny ostatecznie będą współzawodniczyć z ludźmi na wszystkich czysto intelektualnych polach. Od czego jednak najlepiej zacząć? Nawet to jest trudną decyzją. Wielu sądzi, że najlepsze byłoby bardzo abstrakcyjne działanie, jak gra w szachy. Można także utrzymywać, najlepsze byłoby pozyskanie maszyny z najlepszymi organami sensorycznymi, jakie można kupić i uczenie, jak rozumieć i mówić po angielsku. Ten proces postępowałby jak zwykłe uczenie dziecka. Wskazywane byłyby rzeczy i nazywane, etc. Znowu nie wiem, jaka jest właściwa odpowiedź, lecz myślę, że trzeba spróbować obu podejść.

W tej heroicznej fazie dziejów informatyki — jak określa to Marciszewski (2011, s. 165) — oprócz Turinga istotny wkład wnosi John von Neumann, kładąc podwaliny paradygmatu informatycznego. Von Neumann poszedł dalej — choć tym samym śladem co Turing — w postulowaniu rozumienia

algorytmu. W niedokończonej, pisanej przed śmiercią książce *The Computer and the Brain* (1958) bada algorytmy, których nośnikiem byłoby żywe białko.

Rozważania możliwości sztucznej inteligencji, którą mogłaby przejawiać maszyna zbudowana według reguł i zasad paradygmatu mechanicystycznego, prowadzą do konkluzji, że jako taka nie dorówna inteligencji tej, którą przejawiają organizmy żywe (Trzęsicki, 2016).

Do tej heroicznej fazy dziejów należy również Konrad Zuse, `http://www.konrad-zuse.de`. Był pionierem informatyki, choć jego nazwisko jest mniej powszechnie znane. Zuse już w latach 40-tych zbudował pierwszy w pełni programowalny komputer Z3. Język programowania Plankalkül wyprzedzał to, do czego inni doszli później. Dodajmy, że skala i wartość osiągnięć technicznych Zuse jest dyskutowana (Copeland et al., 2016, s. 448).

Zuse w *Rechnender Raum* (1967) jako pierwszy mówi o wszechświecie jako sieci komputerowej. Nie ogłasza, że ma pełną teorię wszystkiego w postaci jakiegoś algorytmu liczącego wszechświat, lecz w tym tekście jako pierwszy jasno formułuje taką ideę. Wyniki swoich dalszych przemyśleń opublikował w *Rechnender Raum* (1969) oraz w *Nature as Computation* (2012b). W *Der Computer* (2010) wspomina:

> Es geschah bei dem Gedanken der Kausalität, dass mir plötzlich der Gedanke auftauchte, den Kosmos als eine gigantische Rechenmaschine aufzufassen. Ich dachte dabei an die Relaisrechner: Relaisrechner enthalten Relaisketten. Stößt man ein Relais an, so pflanzt sich dieser Impuls durch die ganze Kette fort. So müßte sich auch ein Lichtquant fortpflanzen, ging es mir durch den Kopf. Der Gedanke setzte sich fest; ich habe ihn im Laufe der Jahre zur Idee des "Rechnenden Raumes" ausgebaut. Es sollte freilich dreißig Jahre dauern, ehe mir eine erste konkrete Formulierung der Idee gelang.

> Kiedy myślałem o przyczynowości nagle ogarnęła mną myśl, aby pojąć kosmos jako jakąś gigantyczną maszynę liczącą. Myślałem przy tym o kalkulatorze przekaźnikowym: kalkulatory przekaźnikowe zawierają łańcuchy przekaźnikowe. Wzbudzi się jeden przekaźnik, to ten impuls będzie przekazywany przez cały łańcuch. Tak musiałyby być przekazywane kwanty światła — przeszło mi przez głowę. Myśl ta opanowała mnie; w przeciągu lat rozbudowywałem ideę "Rechnenden Raumes" (przestrzeń obliczeniowa). Trwało to właściwie trzydzieści lat, zanim doszedłem do jakiegoś konkretnego sformułowania.

Dopiero w trzecim tysiącleciu idea świata jako komputera zaczęła wzbudzać większe zainteresowanie. Zaczęły być publikowane m.in. w *Scientific*

American i *Spektrum der Wissenschaft* teksty takie, jak: „Czy wszechświat jest Wielkim Komputerem?”, „Czy Wszechświat jest Komputerem?”. Jesienią 2006 r. Technische Universität Berlin, gdzie Horst Zuse, syn Konrada Zuse jest profesorem, zorganizował konferencję *Ist das Universum ein Computer?* (Czy wszechświat jest komputerem?) (German & Zenil, 2012, s. 61).

Zuse, kończąc *Rechnender Raum* (1967, s. 344) wymienia paradygmatyczne różnice między mechaniką klasyczną, mechaniką kwantową a swoją koncepcją Rechnender Raum:

lp.	Fizyka klasyczna	Fizyka kwantowa	Przestrzeń obliczeniowa
1.	mechanika punktu	mechanika falowa	teoria automatów, algebra przełączników
2.	korpuskuła	fala-korpuskuła	stan przełącznika, cząstka cyfrowa (Digitalteilchen)
3.	analogowe	hybrydowe	cyfrowe
4.	analiza	równania różniczkowe	równania różnicowe i algebra Boole'a
5.	wszystkie wielkości ciągłe	niektóre wielkości skwantowane	wszystkie wielkości mają tylko wartości dyskretne
6.	żadnych wartości granicznch	poza prędkością światła żadnych wartości granicznych	minimalne- i maksymalne wartości wszystkich wielkości
7.	nieskończona dokładność	relacja nieokreśloności	ograniczona dokładność rachunków
8.	przyczynowość w obydwu kierunkach czasu	tylko statystyczna przyczynowość rozwiązanie tylko uprawdopodobniające	przyczynowość tylko w przyszłość, możliwe wprowadzenie terminów uprawdopodobniających, ale nie konieczne
9.		klasyczna mechanika wprowadzona jako statystyczna	prawa uprawdopodobniające fizyki kwantowej wyjaśniane przez strukturę przestrzeni
10.		formuły bazowe	przełączniki bazowe

Choć koncepcja Konrada Zuse świata jako wielkiego komputera jest dyskusyjna (Copeland et al., 2016, Zuse thesis, Examining Zuse's thesis), to wskazane różnice między paradygmatami są interesujące z punktu widzenia filozofii informatycznej.

Alan Turing nie ograniczał swojego myślenia do kwestii informatycznych. Nie tylko szukał wiedzy na temat umysłu. Jego badania obejmowały również

świat przyrody. Nie bez racji może być zakwalifikowany jako filozof przyrody (Hodges, 1997). Przykładem dociekań według paradygmatu, który tu określamy jako paradygmat Turinga są badania, których wyniki zawarł w *The Chemical Basis of Morphogenesis* (1952).

Według mechanicyzmu wszystko co jest i dzieje się w przyrodzie może być wyjaśniane za pomocą pojęć i praw mechaniki, ewentualnie mechaniki kwantowej. Według filozofii informatycznej wszystko, co jest przedmiotem poznania naukowego może być wyjaśnione jako algorytmiczne przetwarzanie informacji, analogicznie do działania maszyny Turinga i jej modyfikacji oraz uogólnień, czyli za pomocą pojęć i praw algorytmiki. Obliczenia we wszechświecie, obliczenia naturalne, wykonywane byłyby na wielu różnych poziomach organizacji: kwantowym, biologicznym, przestrzennym itd. Niektóre obliczenia byłyby dyskretne, niektóre ciągłe (Lesne, 2007).

Różnicę między jednym a drugim, między paradygmatem Galileusza a paradygmatem Turinga, można wskazać obrazowo: w koncepcji nauki w paradygmacie Galileusza świat jest dziełem Inżyniera mechanika, a w koncepcji nauki w paradygmacie Turinga świat jest dziełem Programisty. Jeśli z paradygmatem Galileusza można wiązać *Deus ex machina*, to z paradygmatem Turinga wiązalibyśmy zwrot: *Deus ex AI*.

Celnie, z uwzględnieniem kontekstu historycznego, paradygmat Turinga można scharakteryzować słowami Marciszewskiego (2011, s. 153), który w miejsce Leibniza stwierdzenia: cum Deus calculat et cogitationem exercet, fit mundus stawia: *cum mundus calculat, fit mundus*, gdy świat rachuje, staje się świat. A może, zachowując analogię — mając na uwadze tłumaczenie „cum Deus calculat et cogitationem exercet, fit mundus" jako „gdy Bóg rachuje i wciela swe myśli w czyny, powstaje świat" — powiedzieć: *cum mundus calculat et algorithmum exercet, fit mundus*? „*Cum mundus calculat et algorithmum exercet, fit mundus*" tłumacząc, jako „gdy świat rachuje i wykonuje algorytmy, staje się świat". Świat Galileusza został obliczony, a świat Turinga na podstawie aktualnego stanu sam rachuje swój stan przyszły (G. Chaitin, 2007, s. 13).

W dyskusji Marciszewski pyta, czy zwroty „*calculat*" i „*algorithmum exercet*" są w paradygmacie Turinga równoznaczne, a przynajmniej równozakresowe. Jeśli tak, to stosunek między nimi trzeba by oddać nie przez „*et*", ale (np.) „*id est*". I rozważa, o co chodzi Leibnizowi, gdy po „*calculat*" dodaje „et cogitationes exercet". Czy nie uważał on, że myślenie Boga utożsamia się z rachowaniem? To po co byłby ten dodatek? Dodajmy, że ten ostatni postawiony przez Marciszewskiego problem jest tematem wielu rozważań, a

Louis Couturat (1901) jako motto *La logique de Leibniz*, swojego fundamentalnego tekstu o logice Leibniza, właśnie wybrał skróconą postać „*cum Deus calculat ... fit mundus*". Gdyby pozostać przy skróconej wersji myśli Leibniza, to „cum mundus algorithmum exercet, fit mundus" wprost wyrażałoby ideę filozofii informatycznej.

W świecie Galileusza trwa wieczny ruch określony przez prawa mechaniki. Sam świat pozostaje wieczny i niezmienny. Świat nie jest jednak wieczny: ma początek i będzie miał koniec. Nie jest niezmienny: ewoluuje. Darwin wykazał ewolucję świata ożywionego. Współczesna fizyka stwierdza historyczność, ewoluowanie świata materialnego. Historia uczy o ewolucji świata społecznego.

Prawa mechaniki mówią o poruszaniu się kół, trybów i innych części maszyny, nie mówią o tym, że sama maszyna się zmienia. Ona po prostu jest zanurzona w świecie przestrzenno-czasowym. Prawa algorytmiki mówią o przetwarzaniu nie tylko części, składowych świata, lecz również (całego) świata.

9 Paradygmat algorytmiczny w nauce

Rozważmy przykładowe kwestie, których ujęcie w paradygmacie Turinga jest różne od ujęcia w paradygmacie Galileusza.

9.1 Czy paradygmat Turinga jest owocny?

Czy zmiana języka matematyki na język algorytmiki prowadzi do nowych pytań i umożliwia znajdowanie odpowiedzi na pytania, na które nie znajdujemy odpowiedzi w paradygmacie Galileusza?

W przypadku paradygmatu Galileusza naturalne jest pytanie, kto oblicza. W przypadku paradygmatu Turinga na pytanie, co przetwarza informację składającą się na świat odpowiedź jest prosta: świat. Algorytm jest składową świata tak, jak dane i programy są składową komputera i jak jedne i drugie, dane i programy, są tak samo kodowane. Powtórzmy wyrażającą to sentencję:

> cum mundus calculat et algorithmum exercet, fit mundus.

Owocność poznawcza paradygmatu Turinga może się też — co brzmi paradoksalnie — przejawić w stwierdzeniu, że niektóre procesy przyrodnicze i

umysłowe nie są obliczalne. Sam Turing, mając na uwadze istnienie nieobliczalnych liczb rzeczywistych, wskazywał możliwość, że fizyka mózgu może nie być obliczalna oraz dopuszczał możliwość nieobliczalnych systemów fizycznych (Copeland et al., 2016, The physical computability thesis).

Owocność praktyczna paradygmatu informatycznego przejawia się w zastępowaniu technologii mechanicznych przez technologie informatyczne. To jest naoczne. Dokonuje się postęp cywilizacji, o jakim mówił Alfred Whitehead (1911, s. 61):

> Civilization advances by extending the number of important operations which can be perform without thinking about them. Operations of thought are like cavalry charges in a battle — they are strictly limited in number, they require fresh horses, and must only be made at decisive moments.
>
> Cywilizacja wzrasta przez powiększanie ilości znaczących operacji, których wykonanie nie wymaga myślenia o nich. Operacje myślowe są jak szarże kawalerii w bitwie — są ściśle ograniczone co do ilości, wymagają rześkich koni i muszą być wykonane w decydujących momentach.

Tak rozumiana cywilizacja zrealizuje się poprzez rozwój sztucznej inteligencji, która staje się „szarżą kawaleryjską” współczesnego świata.

Kończąc *Rechnender Raum (Calculating Space)* Zuse pisze:

> Even if these observations do not result in new, easily understood solutions, it may still be demonstrated that the methods suggested have opened several new perspectives which are worthy of being pursued. Incorporation of the concepts of information and the automaton theory in physical observations will become even more critical, as even more use is made of whole numbers, discrete states and the like.
>
> Nawet jeśli te obserwacje nie prowadzą do nowych, łatwych do zrozumienia rozwiązań, to nadal można wykazać, że proponowane metody otwierają różne nowe perspektywy, które warto eksplorować. Inkorporacja koncepcji informacji i teorii automatów do obserwacji fizykalnych stanie się bardziej krytyczna, gdy w większym stopniu będzie wykorzystywać się liczby całkowite, stany dyskretne i tym podobne.

Stanisław Krajewski (2012) z tym, co tutaj nazywamy paradygmatem Turinga wiąże wielorakie nadzieje poznawcze:

> It seems to me that philosophy has entered a new condition because of the advent of computers. [...] I wish to point out something more fundamental — a new kind of experience with which we have familiarized ourselves because of computers. Much more has happened than the obvious, though still remarkable, 'shrinking' of the globe due to the ease of communication with nearly every spot on earth; even more amazing is the fact that so much can be recreated or simulated by programming. The philosophy of mind has been deeply affected by this: indeed, a cognitive science has arisen that conceives the mind as a biological computer. To understand it, the knowledge of logic should be useful. After all, logic, which emerged as the result of an analysis of thinking and thought patterns, was used to build computers, and computers, in turn, according to their enthusiasts, are about to acquire the ability to think. If so, then, however "artificial" this thinking could be, it would amount to not only information processing but to understanding as well.

> Wydaje mi się, że filozofia znalazła się w nowej sytuacji z powodu pojawienia się komputerów. [...] Chcę wskazać coś bardziej fundamentalnego — nowy rodzaj doświadczenia, z którym zapoznaliśmy się dzięki komputerom. Znacznie więcej zdarzyło się niż oczywiste, chociaż wciąż godne uwagi, 'skurczenie się' globu, z powodu łatwości komunikacji z prawie każdym punktem ziemi; a nawet bardziej zadziwiający jest fakt, że tak wiele może być odtworzone lub symulowane programistycznie. Filozofia umysłu została tym głęboko dotknięta: rzeczywiście, powstała kognitywistyka, która pojmuje umysł jako biologiczny komputer. Dla zrozumienia tego powinna być użyteczna wiedza logiczna. Przede wszystkim, logika, która wyłoniła się jako wynik analizy myślenia i wzorców myśli, została użyta do budowy komputerów, a komputery, z kolei, według ich entuzjastów, są blisko od nabywania umiejętności myślenia. Jeśli tak, to, jakkolwiek "sztuczne" mogłoby to być myślenie, byłoby czymś równym nie tyko przetwarzaniu informacji, lecz również jej rozumieniu.

9.2 Poznanie umysłu

Paradygmat Turinga jest właściwy i owocny w badaniu umysłu. W tym obszarze wiedzy paradygmat Turinga odnosi największe sukcesy tak, że nawet można odnieść wrażenie, że jest to jego zasadniczy obszar zastosowania.

Zagadnienie umysłu w perspektywie paradygmatu informatycznego pod-

jął Turing w związku ze śmiercią w 1930 r. swego przyjaciela z czasów szkolnych Christophera Morcoma. W 1932 r., będąc w odwiedzinach w domu rodzinnym Morcoma wyraził przekonanie, inspirowane lekturą książki Arthura S. Eddingtona *The Nature of The Physical World* (2014), że mózg nie działa deterministycznie, a wolna wola ma oparcie w prawach fizyki kwantowej. Wynikiem jego przemyśleń jest również test, zwany dziś testem Turinga, który dał asumpt do algorytmicznego rozumienia umysłu i świadomości. Test ten stał się wzorcem dla innych, którzy stawiali sobie za cel pełną identyfikację umysłu (Krajewski, 2012). Zuse swój uniwersalny język Plankalkül porównywał do „sztucznego mózgu" (German & Zenil, 2012, s. 62). Nowa multidyscyplinarna nauka, kognitywistyka, stała się polem szerokiej współpracy badaczy różnych aspektów umysłu i mózgu.

Osiągnięcia wiedzy o umyśle są znaczące. Dostarczają argumentów na rzecz negatywnej odpowiedzi na tytułowe pytanie postawione przez Wodzisława Ducha[9]: "Why Minds cannot be Received, but are Created by Brains". Życie po śmierci ma być mitem (Martin & Augustine, 2015). Pyta prof. Duch: „Czy syn człowieczy znajdzie wiarę [...] w cywilizacji informatycznej?". Podejmuje temat *Katolicyzm po kognitywistyce: O nową teologię umysłu*[10].

Rozważmy założenia teologiczne tej dyskusji o relacji duch-ciało. Czy teologia rzeczywiście głosi to, co w tej dyskusji zakłada się? Zauważmy, że założenie rozdzielności duszy i ciała nie jest konieczną tezą teologii katolickiej. Nie przyjmuje tego jej nurt tomistyczny. Napisze Bocheński (1994):

> Tym bardziej stanowczo wypada powiedzieć, że mniemanie, jakoby człowiek składał się z dwóch kawałków, ciała i duszy, jest bardzo nędznym zabobonem. Cała nasza nauka i wszyscy poważni myśliciele odrzucają go stanowczo. Aby tylko jeden przykład podać, św. Tomasz z Akwinu, jeden z największych myślicieli chrześcijaństwa, przeczy stanowczo, by dusza ludzka była „substancją zupełną", tj. kawałkiem i broni poglądu, że jest „treścią (forma) ciała".

Czy tomistyczne ujęcie relacji duszy i ciała wpisuje się w paradygmat informatyczny? Na te i inne pytania nie zamierzamy tu dawać odpowiedzi, zauważmy jednak, że chrześcijanie głoszą zmartwychwstanie z duszą i ciałem, że koniec tego świata nie jest końcem świata w ogóle. Jak czytamy w Apokalipsie (21:1):

> I ujrzałem niebo nowe i ziemię nową,
> bo pierwsze niebo i pierwsza ziemia przeminęły,
> i morza już nie ma.

Koniec świata byłby wówczas, gdyby wszystkie (fizyczne) algorytmy przestały działać, w kierunku doskonalenia bo świat osiągnąłby stan doskonały.

Filozofia materialistyczna przyjmuje koncepcję umysłu jako obiektu wyłącznie materialnego. Mózg Lenina, który zmarł w 1924 r. został wypreparowany i poddany badaniom w dedykowanym do tego instytucie. Dążono do pozyskania wiedzy biologicznej o mózgu geniusza a także, zachowując ciało Lenina dopuszczano możliwość jego ożywienia. To podejście dokonywało się w paradygmacie Galileusza. Taka biologiczna koncepcja badania zasadniczo zawęża metody w stosunku do paradygmatu Turinga.

Paradygmat Turinga otwiera naukę na spekulacje na temat umysłu, jakie czynione są w związku z twierdzeniem Gödla i jego wersjami, prowadzącymi do odrzucenia mechanistycznej koncepcji umysłu (Krajewski, 2020).

9.3 Przewidywanie

Naukę uprawiamy m.in., aby móc przewidywać. Jak to sformułował filozof pozytywizmu August Comte:

> Savoir pour prévoir, prévoir pour pouvoir.
>
> wiedzieć, aby przewidzieć; przewidzieć, aby móc działać.

W paradygmacie mechanicystycznym niedostateczność przewidywania wyjaśniamy niedostatkiem relewantnych danych lub — ewentualnym — brakiem dostatecznej wiedzy na temat praw rządzących braną pod uwagę rzeczywistością.

Paradygmat mechanicystyczny odnosi sukcesy w obszarze zjawisk makroprzyrodniczych: potrafimy z dokładnością ograniczoną tylko błędami przyrządów obserwacyjnych przewidywać ruchy ciał niebieskich. Trochę gorzej wypada to na poziomie mikro, ale działa. Kiedy jednak przewiduje się zgodnie z tym paradygmatem zjawiska społeczne, np. gospodarcze, to nawet upraszczając gospodarowanie — jak to czyniono w gospodarce centralnie planowanej — poprzez administrowanie cenami, wielkością produkcji, zasadami dystrybucji i innymi elementami, mającymi wpływ na wynik gospodarczy, doświadcza się braku przewidywalności. Dlaczego? Może po prostu dlatego, że założono mechanicystyczny model funkcjonowania gospodarki.

Aby poznać działanie gospodarki musimy stworzyć algorytmy symboliczne, które będą zgodne, czyli pozwolą na obliczanie wyników takich, jakie są wynikiem działania algorytmów rzeczywistych, czyli tych, według których

obliczany jest przyszły stany gospodarki na podstawie stanów przeszłych. Jeśli uda się nam stworzyć trafne modele algorytmiczne choćby tylko niektórych procesów gospodarczych, to niekoniecznie uda się nam przewidywać wyniki algorytmów rzeczywistych. Mogą być przynajmniej trzy tego powody:

1. algorytm symboliczny źle symuluje algorytm życia gospodarczego,

2. algorytm symboliczny działa wolniej niż algorytm rzeczywisty, którego jest modelem,

3. zawodzi system przekazu danych, na których operuje algorytm symboliczny.

Świat już dziś opleciony jest siecią informatyczną, a choć jej rozwój rodzi obawy o możliwość zachowania prywatności, a przede wszystkim wolności, w szczególności od manipulacji, nic nie wskazuje na zahamowanie tego. Dzięki pozyskiwaniu aktualnych danych meteorologicznych możliwe staje się coraz lepsze przewidywanie pogody. Czy życie gospodarcze jest bardziej „kapryśne” niż pogoda, czy też wciąż nie mamy dostępu do wystarczających zasobów danych lub nie mamy algorytmów symbolicznych dobrze symulujących algorytmy życia gospodarczego?

Rozważyć trzeba również to, że przewidywania gospodarcze mają wpływ na zachowania ludzi i najzwyklej w świecie dochodzi do samounicestwienia tych przewidywań. Jak na razie najlepiej w gospodarce radzą sobie ci, którzy mają intuicję gospodarowania i mają dostęp do relewantnych danych.

9.4 Ruch maszyny a ewolucja algorytmiczna

Awaria, „śmierć”, maszyny jest wadą, której powodem może być niedoskonałość konstrukcji, wadliwość zastosowanych materiałów lub błędy wykonania. Gdyby człowiek, w ogóle świat natury, był dziełem inżyniera mechanika, to śmierć wskazywałaby na brak kompetencji inżynierskich.

Ujmując rzecz naturalistycznie, przyroda stworzyła wyrafinowane konstrukcje takie, jak organizmy, materię ożywioną. O poziomie wyrafinowania świadczy to, że człowiekowi wciąż nie udało się stworzyć jakiejkolwiek formy materii ożywionej, a także wiedza na temat życia wciąż — mimo olbrzymich postępów — jest płytka. Organizmy są śmiertelne, zresztą wbrew oczekiwaniom tych organizmów. Co ograniczało przyrodę, aby wytworzyć osobniki, które są wieczne? Ujmując rzecz z perspektywy mechanicystycznej pytamy

się, co stało na przeszkodzie, aby wytworzony był mechanizm samonaprawy i odmładzania. Akurat w tym zakresie człowiek, nauka, ma pewne osiągnięcia.

Powyższa kwestia inaczej jednak wygląda, kiedy ujmie się ją z perspektywy paradygmatu algorytmicznego. Dobry algorytm to taki, który zatrzymuje się po skończonej ilości wykonanych instrukcji. Jeśli życie jest realizacją pewnego algorytmu, to koniec działania tego algorytmu wskazuje na kompetencje programisty: algorytm przestał działać, kiedy osiągnął wynik. Wszechświat jako dobry algorytm ma początek i będzie miał koniec, kiedy wykona zadanie, dla którego został „napisany".

Odwiecznym problemem człowieka jest zagadnienie wolnej woli. Zuse (German & Zenil, 2012, s. 62–62) głosi:

> I think the majority of researchers involved in the development of the computer have at some point in their lives, in one way or another considered the question of the relationship between human free will and causality.
>
> Myślę, że większość badaczy zajmujących się technologią komputerową w pewnym momencie swojego życia w taki czy inny sposób rozważała kwestię relacji między wolną wolą człowieka a przyczynowością.

Czy zadowalające rozwiązanie tej kwestii, kierując się paradygmatem Turinga?

Śmierci, końca działania, w świecie przyrody Galileusza nie sposób opisać, nie zakładając jakieś wady, jakiegoś zużywania się, wyczerpania się. Dla algorytmów koniec ich działania jest nie tylko naturalny, ale i jest ich oczekiwaną własnością. Z tej perspektywy śmierć jawi się jako spełnienie, wypełnienie. Organizmy żywe, realizowane przez algorytmy ewolucyjne, giną, aby dać miejsce doskonalszym. Te, które osiągnęłyby doskonałość mogłyby trwać wiecznie.

Jak celem ludzkiego działania jest dobro, co stwierdzał Platon [Gorgias 499e], a Arystoteles (1982, Ks. I, rodz. I, s. 3) powie:

> Wszelka sztuka i wszelkie badanie, a podobnie też wszelkie zarówno działanie jak i postanowienie, zdają się zdążać do jakiegoś dobra i dlatego trafnie określono dobro jako cel wszelkiego dążenia.

tak też dobro byłoby celem działania algorytmów.

W paradygmacie Galileusza, jak to jest w fizyce newtonowskiej, czas i przestrzeń są bezgranicznym „naczyniem", w którym przebiegają procesy

fizyczne. W przypadku paradygmatu Turinga czas i przestrzeń są właściwościami algorytmów. Są im immanentne. Kiedy algorytm wypełni się, osiągnie doskonałość, czas — dla niego — przestaje płynąć, przynajmniej ten, który był wyznaczany przez rytm wykonywania algorytmu.

Czy — idąc tym tropem myślenia, że ewolucja prowadzi do doskonalenia — skonstruowanie przez człowieka komputera doskonalszego od człowieka, stworzenie superinteligencji, jakichś robotów Čapka, doprowadzi do sytuacji, w której algorytm życia człowieka zakończy działanie, bo człowiek wypełnił już swoje zadanie (Boström, 2014), a może? — jak przewiduje to Kurzweil (2005):

> The Singularity will allow us to transcend these limitations of our biological bodies and brains. We will gain power over our fates. Our mortality will be in our own hands. We will be able to live as long as we want (a subtly different statement from saying we will live forever). We will fully understand human thinking and will vastly extend and expand its reach. By the end of this century, the nonbiological portion of our intelligence will be trillions of trillions of times more powerful than unaided human intelligence.
>
> Osobliwość pozwoli nam przekroczyć ograniczenia naszych biologicznych ciał i mózgów. Uzyskamy władzę nad naszymi losami. Nasza moralność będzie w naszych własnych rękach. Będziemy zdolni żyć tak długo, jak zechcemy (subtelnie różne stwierdzenie od powiedzenia, że będziemy żyli wiecznie). Będziemy w pełni rozumieć ludzkie myślenie i będziemy szeroko poszerzać i poszerzać jego zasięg. Pod koniec tego wieku, nie-biologiczna część naszej inteligencji będzie tryliony trylionów razy potężniejsza niż niewspomagana ludzka inteligencja.

9.5 Rozwój nauki

Nauka jest przedsięwzięciem historycznym. Obrazowo określa to Marciszewski (2011, s. 232):

> Nauka nowożytna to niezmierzony dziś ocean wiedzy, a myśl i dorobek Galileusza, w połączeniu z pionierskim dziełem Kopernika, jest jak ujście doń rzeki toczącej swe wody wcześniej przez dwa tysiąclecia. Jeśli zapytać, skąd ten nurt wypływa, gdzie i jakie są jego źródła, to nasza rzeczna metafora nadal się sprawdza. Okazuje się bowiem, że jest to tak, jak w przyrodzie. Dające się rozpoznać źródło stanowi uchwytny

> tej rzeki początek, ale on z kolei ma swe początki w sączących się niewidzialnie, pochowanych w murawie strumyczkach, bez których by nie zaistniało nasze oznaczone na mapie źródło.

Osiągnięcia nauki zawdzięczamy poprzednikom. Głosił Jan z Salisbury, powtarzając za znanym z próby uzgodnienia filozofii Platona z filozofią Arystotelesa, Bernardem z Chartres (Fairweather, 1956), (Saresberiensis, 1159, III. CAP IV):

> nos esse quasi nanos, gigantium humeris incidentes, ut possimus plura eis et remotiora videre, non utique proprii visus acumine, aut eminentia corporis, sed quia in altum subvehimur et extollimur magnitudine gigantea.
>
> Jesteśmy podobnie jak karły siedzące na barkach gigantów. W zasięgu wzroku mamy więc więcej rzeczy i widzimy dalej niż oni. Nie jest tak ani dlatego, że mamy ostrzejszy wzrok, ani dlatego, że jesteśmy więksi; lecz dlatego, że jesteśmy niesieni i wyniesieni przez wielkość gigantów.

Newton, którego *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (1687) otwiera erę nowoczesnej nauki, napisze do Roberta Hooke'a (1675):

> If I have seen further, it is by standing on the shoulders of giants,
>
> zobaczyłem dalej (zrozumiałem więcej), bo stanąłem na barkach gigantów.

Żadne pokolenie nie rozwiązało i — jak to uzasadnia filozofia informatyczna — nie rozwiąże wszystkich problemów pozostawiając je przyszłym pokoleniom. Przeczuwał to już Newton (Westfall, 1983, s. 643):

> To explain all nature is too difficult a task for any one man or even for any one age. 'Tis much better to do a little with certainty, & leave the rest for others that come after you, than to explain all things by conjecture without making sure of any thing.
>
> Wyjaśnienie wszystkiego w przyrodzie jest zbyt trudnym zadaniem dla każdego jednego człowieka lub nawet dla jednego pokolenia. 'Znacznie lepiej jest zrobić niewiele, ale porządnie, & pozostawić resztę dla innych, którzy przyjdą po tobie, niż wyjaśnić wszystkie sprawy przez przypuszczenia bez pewności jakieś rzeczy.

Newton sam o sobie powie (Brewster, 1855, s. 407):

> I do not know what I appear to the world; but to myself I seem to have been only like a boy playing on a seashore, and diverting myself in now and then finding a smoother pebble or a prettier shell than ordinary, whilst the great ocean of truth lay undiscovered before me.
>
> Nie wiem, jak mnie widzi świat; lecz mnie samemu zdaje się, że jestem jak mały chłopiec bawiący się na brzegu morza, zabawiający się znajdowaniem tu i tam wygładzonych kamyków lub ładniejszych niż zwykłe muszli, a przede mną rozciąga się wielki ocean nieodkrytych prawd.

Z tworzeniem gmachu nauki jest podobnie, jak z budową średniowiecznych katedr. Każdy, kto uczestniczył w budowie katedry miał różne cele prywatne i wnosił różny wkład w jej powstanie, nie mając ani pewności, czy katedra ostatecznie będzie ukończona, ani jak będzie ostatecznie wyglądała. Nikt nie miał pewności, kiedy budowa się zakończy.

Newton, na którego popiersiu w Trinity College czytamy: *Qui genus humanum ingenio superavit*, nie ma większego intelektu wśród ludzi, który sformułował mechanikę (newtonowską), która zdawała się ostateczną teorią fizykalną, nie żywił przekonania o możliwości wyczerpania przez naukę wiedzy o świecie. Dzisiaj dzięki filozofii informatycznej wiemy, że jego przeczucie było zasadne. Nauka ery informatycznej, o czym pisze Marciszewski (2011), będzie w stanie niekończącego się rozwoju, nie wyczerpując wszystkich konsekwencji odkrytych prawd.

Kolejne pokolenia badaczy będą zasoby wiedzy powiększać, korygować, zgłębiać, ale i tak pozostaną obszary, o których będzie można powiedzieć — powtarzając za Emilem du Bois-Reymondem, niemieckim fizjologiem, przekonanie *ignoramus et ignorabimus*, nie wiemy i wiedzieć nie będziemy, wypowiedziane w Lipsku na wykładzie *Über die Grenzen des Naturerkennens* (Du Bois-Reymond, 1872, 1882) (O granicach poznania przyrody) w Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärtze. Mówił, że wobec zagadek świata materialnego jest badacz przyrody od dawna przywykły do ludzkiej niechęci wypowiedzenia swojego '*Ignoramus*' (nie wiemy). Spojrzenie na przeszłe sukcesy prowadzi go do niezmąconej świadomości, że, czego jeszcze nie wie, przynajmniej warunkowo mógłby wiedzieć, a kiedyś być może będzie wiedział. Wobec zagadki, czym są materia i siła i jak są one do pomyślenia, musi za każdym razem zdecydować się na bardziej trudną prawdę: '*Ignorabimus*' (nie będziemy wiedzieć):

> Gegenüber den Rätseln der Körperwelt ist der Naturforscher längst

> gewöhnt, mit männlicher Entsagung sein 'Ignoramus' auszusprechen. Im Rückblick auf die durchlaufene siegreiche Bahn trägt ihn dabei das stille Bewußtsein, daß, wo er jetzt nicht weiß, er wenigstens unter Umständen wissen könnte, und dereinst vielleicht wissen wird. Gegenüber dem Rätsel aber, was Materie und Kraft seien, und wie sie zu denken vermögen, muß er ein für allemal zu dem viel schwerer abzugebenden Wahrspruch sich entschließen: 'Ignorabimus'.

Z przekonaniem du Bois-Reymonda, przynajmniej w matematyce, nie godził się David Hilbert (1900). Na kongresie matematyków w Paryżu w 1900 r. głosił, że wewnętrzny głos mówi:

> Da ist das Problem, suche die Lösung. Du kannst sie durch reines Denken finden; denn in der Mathematik gibt es kein *Ignorabimus!*.

> Jest problem, szukaj rozwiązania. Znaleźć możesz je za pomocą czystego myślenia; albowiem w matematyce nie istnieje *Ignorabimus!*

W zakończeniu mowy pożegnalnej w Królewcu 8-ego września 1930 r. na spotkaniu Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärtze twierdził, że (Hilbert, 1935, s. 387):

> *Wir müssen wissen. Wir werden wissen.*

> Musimy wiedzieć. Będziemy wiedzieć[11].

Przekonanie to było znaczące dla rozwoju jego działalności badawczej. Inskrypcja tej treści znajduje się na nagrobku Hilberta na cmentarzu w Göttingen.

Podjęta przez Hilberta próba odrzucenia *Ignorabimus!* zaowocowała powstaniem informatyki i uzasadnieniem — paradoksalnie — odrzucenia przekonania Hilberta o możliwościach poznawczych metod formalnych.

10 Zakończenie

Kilka uwag i tez, nie do końca rozwiniętych i nie w pełni uzasadnionych pokazuje, że paradygmat Turinga przekracza granice nauk formalnych. Otwiera nowe perspektywy badań w naukach pozytywnych, a w szczególności zdaje się być jedynym właściwym paradygmatem poznania umysłu. Daje też okazję do spekulacji filozoficznych na temat świata jako zbudowanego z algorytmów. Czy mimo wszystko możemy powtórzyć za Konradem Zuse (German & Zenil, 2012, s. 65) to, co powiedział w połowie XX wieku?:

The concept of the computing universe is still just a hypothesis; nothing has been proved. However, I am confident that this idea can help unveil the secrets of nature.

Idea komputacyjnego wszechświata wciąż pozostaje hipotezą; nic nie zostało jeszcze dowiedzione. Jednakże wierzę, że ta idea pomoże odsłonić tajemnice natury.

Przypisy

[1]Two interesting Arguments for God: Intelligibility and Desire, 2012; http://shamelesspopery.com/two-interesting-arguments-for-god-intelligibility-desire/ [20.10.2020]

[2]https://www.hs-augsburg.de/~harsch/germanica/Chronologie/17Jh/Leibniz/lei_bina.html [20.03.2020]

[3]Więcej na temat tego zapisu na marginesie rozprawki *Dialogus* (Leibniz, 1890a) zob. (Kopania, 2018).

[4]http://www.inters.org/galilei-madame-christina-Lorraine [02.04.2019]

[5]https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/35/Carmen_de_Algorismo.pdf [13.10.2020]

[6]Stacewicz (2011, §1. Różne wymiary informacji) znakomicie omawia pojęcia informacji i jej związki z wiedzą.

[7]Podobne stwierdzenia znajdują się w innych tekstach cytowanego tomu, np. na stronach: 26, 64–65, 125.

[8]Konrad Zuse interviewed by Uta Merzbach in 1968 (Computer Oral History Collection, Archives Centre, National Museum of American History, Washington D.C.).

[9]https://repozytorium.umk.pl/bitstream/handle/item/5064/SetF.2017.014%2CDuch.pdf [05.09.2019].

[10]http://teologia.deon.pl/katolicki-obraz-natury-ludzkiej-i-nauki-kognitywne/ [05.09.2019].

[11]http://math.sfsu.edu/smith/Documents/HilbertRadio/HilbertRadio.pdf [12.07.2020].

Literatura

Ares, J., Lara, J. A., Lizcano, D., & Martínez, M. A. (2018). Who discovered the binary system and arithmetic? Did Leibniz plagiarize Caramuel? *Science and Engineering Ethics*, *24*, 173–188. doi: 10.1007/s11948-017-9890-6

Arystoteles. (1982). *Etyka nikomachejska.* Warszawa: PWN. (przełożyła Daniela Gromska)

Babbage, C. (1864). *Passages from the life of a philosopher.* London: Longman, Green, Longman, Roberts, & Green. http://djm.cc/library/Passages_Life_of_a_Philosopher_Babbage_edited.pdf.

Babbage, C. (2008). *Passages from the life of a philosopher.* Rough Draft Printing. http://www.fourmilab.ch/babbage/lpae.html.

Bachelard, G. (2002). *Kształtowanie się umysłu naukowego. Przyczynek do psychoanalizy wiedzy obiektywnej.* Gdańsk: Wydawnictwo słowo/obraz terytoria.

Bacon, R. (2010). Mathematical science. In J. H. Bridges (Ed.), *The opus majus of Roger Bacon* (Vol. 1, pp. 97–404). Cambridge: Cambridge University Press. doi: 10.1017/CBO9780511709661.006

Bocheński, J. M. (1994). *Sto zabobonów. Krótki filozoficzny słownik zabobonów* (2nd ed.). Kraków: Wydawnictwo PHILED spółka z o.o.

Boström, N. (2014). *Superintelligence: Paths, dangers, strategies.* Oxford: Oxford University Press.

Brewster, D. K. H. (Ed.). (1855). *Memoirs of the life, writings, and discoveries of sir Isaac Netwon* (Vol. 2). Edinburgh, London: Thomas Constable and Co. Hamilton, Adams, and Co. https://archive.org/details/memoirslifewrit02brewgoog/page/n5/mode/2up.

Burks, A. W., Goldstine, H. H., & von Neuman, J. (1987). Preliminary discussion on the logical design of an electronic computing instrument. In W. Aspray & A. Burks (Eds.), *Papers of John von Neumann on computing and computer theory* (Vol. 12, pp. 97–142). MIT Press. https://archive.org/details/papersofjohnvonn00vonn. (The Institute for Advanced Study, 2 September 1947)

Cantor, M. (1865). Über einen Codex des Klosters Salem. *Zeitschrift für Mathematik und Physik*, *10*, 1–16. https://archiv.ub.uni-heidelberg.de/volltextserver/12869/.

Caramuelis, I. (1670). *Mathesis biceps vetus et nova.* Officinâ Episcopali. https://books.google.pl/books?id=KRtetV1MJnkC&printsec=frontcover&source=gbs_book_other_versions_r&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false.

Chaitin, G. (2007). Epistemology as information theory: From Leibniz to Ω. In G. D. Crnkovic (Ed.), *Computation, information, cognition — The nexus and the liminal* (p. 20017). Newcastle UK: Cambridge Scholar Publishing.

Chaitin, G. J. (2004). *Leibniz, randomness & the halting probability.* http://www.cs.auckland.ac.nz/CDMTCS/chaitin/turing.html.

Chaitin, G. J. (2005). *Meta math! The quest for Omega*. New York: Pantheon. https://arxiv.org/pdf/math/0404335.pdf.

Cherry, S. R. (2017). *The reason of reason: How reason logic and intelligibility together are evidence for God* (2nd ed.). Canterbury: Telos Publishing.

Copeland, J., Bowen, J., Sprevak, M., & Wilson, R. (2016). Is the whole universe a computer? In J. Jack Copeland, J. Bowen, M. Sprevak, & R. Wilson (Eds.), *The Turing guide: Life, work, legacy* (pp. 445–462). Oxford: Oxford University Press.

Couturat, L. (1901). *La logique de Leibniz. D'après des documents inédits*. Paris: Felix Alcan. https://archive.org/details/lalogiquedeleib00coutgoog/page/n10/mode/2up. (Repr. Georg Olms: Hildesheim 1961, 1969)

Davis, M. (2001). *Engines of logic: Mathematicians and the origin of the computer*. New York: W. W. Norton & Company.

De Morgan, A. (1872). *A budget of paradoxes*. London: Longmans, Green, and Co. https://archive.org/details/budgetofparadoxe00demorich.

Dodig-Crnkovic, G. (2013). Alan Turing's legacy: Info-computational philosophy of nature. In G. Dodig-Crnkovic & R. Giovagnoli (Eds.), *Computing nature* (pp. 115–123). Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag.

Du Bois-Reymond, E. H. (1872). *Über die Grenzen des Naturerkennens: Ein Vortrag in der zweiten öffentlichen Sitzung der 45. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte zu Leipzig am 14. August 1872*. Leipzig: Von Veit & Co.

Du Bois-Reymond, E. H. (1882). *Über die Grenzen des Naturerkennens. Die Sieben Welträthsel*. Leipzig: Von Veit & Co. https://wellcomelibrary.org/item/b28103555#?c=0&m=0&s=0&cv=8&z=-1.0775%2C0.2077%2C2.7482%2C1.7807.

Eddington, A. S. (2014). *The nature of the physical world: Gifford lectures of 1927*. Cambridge: Cambridge Scholars Publishing. (Annotated and Introduced by H. G. Callaway)

Fairweather, E. R. (1956). *A scholastic miscellany: Anselm to Ockham*. Philadelphia: Westminster Press.

Floridi, L. (2008). A defense of informational structural realism. *Synthese*, *161*(2), 219–253.

Galileo Galilei. (1623). *The Assayer (Il Saggiatore)*. Stanford University. https://web.stanford.edu/~jsabol/certainty/readings/Galileo-Assayer.pdf. (abridged, translation by Stillman Drake)

German, A., & Zenil, H. (2012). Afterword to Konrad Zuse's *Rechnender Raum*. In *Calculating space ("Rechnender Raum")* (pp. 58–65). World Scientific. https://www.mathrix.org/zenil/ZuseCalculatingSpace-GermanZenil.pdf.

Guthrie, K. S., & Fideler, D. (1987). *The Pythagorean sourcebook: An anthology of ancient writings which relate to Pytagoras and Pythagorean philosophy.* Gloucester, UK: Phanes Press. (Compiled & translated by Kenneth Sylvan Guthrie. Edited & introduced by David Fideler)

Hall, A. R. (1956). *The scientific revolution, 1500–1800: The formation of the modern scientific attitude.* Boston: Beacon Press. https://archive.org/details/scientificrevolu00hall.

Hall, A. R. (1966). *Rewolucja naukowa 1500–1800: Kształtowanie się nowożytnej postawy naukowej.* Warszawa: IW Pax. (Przeł. T. Zembrzuski)

Heller, M. (2013). *Bóg i nauka: Moje dwie drogi do jednego celu.* Kraków: Copernicus Center Press. (E. Nicewicz-Staszowska (tłum.))

Heller, M. (2014). *Granice nauki.* Kraków: Copernicus Center Press.

Hilbert, D. (1900). Mathematische Probleme. *Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Math.-Phys. Klasse*(3), 253–297.

Hilbert, D. (1935). Naturerkennen und Logik. In *David Hilbert: Gesammelte Abhandlungen* (Vol. 3, pp. 378–387). Berlin: Verlag von Julius Springer. https://gdz.sub.uni-goettingen.de/id/PPN237834022.

Hochstetter, E., Greve, H. J., & Gumin, H. (1979). *Herrn von Leibniz' Rechnung mit Null und Eins.* Siemens-Aktien-Ges., [Abt. Verlag].

Hodges, A. (1997). *Turing: A natural philosopher.* London: Phoenix.

Ineichen, R. (2008). Leibniz, Caramuel, Harriot und das Dualsystem. *Mitteilungen der deutschen Mathematiker-Vereinigung*, *16*(1), 12–15.

Infeld, L. (1980). *Quest: An autobiography.* London: Chelsea Publishing Company.

Isidore Hispalensis. (1911). *Etymologiarvm sive originvm libri XX.* Londini: Oxonii. https://archive.org/details/isidorihispalen00lindgoog, http://www.thelatinlibrary.com/isidore.html.

Knuth, D. E. (1997). *The art of computer programming* (Vol. I Fundamental algorithms). Boston: Addison-Wesley. https://archive.org/details/B-001-001-249.

Kopania, J. (2018). Leibniz i jego Bóg. Rozważania z Voltaire'em w tle. *Studia z Historii Filozofii*, *3*(9), 69–101.

Krajewski, St. (2012). The ultimate strenghtening of Turing's test? *Semiotica*, *184*(1/4), 203–218.

Krajewski, St. (2020). On the anti-mechanist arguments based on Gödel's theorem. *Studia Semiotyczne*, *34*(1), 9–56. doi: 10.26333/sts.xxxiv1.02

Kuhn, T. S. (1962). *The structure of scientific revolutions.* Chicago: The University of Chicago Press. (polski przekład: (Kuhn, 1968))

Kuhn, T. S. (1968). *Struktura rewolucji naukowych.* Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe. fem.put.poznan.pl/poli.../4891524Kuhn%20strony%20A.docx. ((Kuhn, 1962): przekład z angielskiego Heleny Ostromęckiej. Tłumaczenie przejrzał, redagował i posłowiem zaopatrzył Stefan Amsterdamski.)

Kuhn, T. S. (2011). *Struktura rewolucji naukowych.* Warszawa: Aletheia. (Tłumacz: Helena Ostromęcka)

Kurzweil, R. (2005). *The singularity is near: When humans transcend biology.* New York: Viking. https://tantor-site-assets.s3.amazonaws.com/...Singularity/B0183_Singularity_PDF_1.pdf.

Leibniz, G. W. (1666). Dissertatio de arte combinatoria. Lipsiae: Joh. Simon. Fickium et Jolh. Polycarp. Senboldum. abirintoermetico.com/12ArsCombinatoria/Leibniz_G_W_Dissertatio_de_Arte_combinatoria.pdf, https://archive.org/details/ita-bnc-mag-00000844-001/page/n11/mode/2up.

Leibniz, G. W. (1679). *De progressione dyadica* (Vol. Pars I). (Published in facsimile (with German translation) in (Hochstetter, Greve, & Gumin, 1979))

Leibniz, G. W. (1697). *Brief an den Herzog von Braunschweig-Wolfenbüttel Rudolph August, 2. Januar 1697.* http://www.fh-augsburg.de/~harsch/germanica/Chronologie/17Jh/Leibniz/lei-bina.html.

Leibniz, G. W. (1890a). Dialogus. In C. I. Gerhardt (Ed.), *Die philosophischen Schriften von G. W. Leibniz* (Vol. 7, pp. 190–193). Berlin. (Reprint: Hildesheim 1960)

Leibniz, G. W. (1890b). *Philosophische Schriften* (Vol. 7; C. I. Gerhardt, Ed.). Berlin: Weidmann.

Leibniz, G. W. (1929). Machina arithmetica in qua non additio tantum et subtractio sed et multiplicatio nullo, divisio vero paene nullo animi labore peragantur. In D. E. Smith (Ed.), *A source book in mathematics* (1st ed., pp. 173–181). New York: McGraw Hill Book Company. https://archive.org/details/sourcebookinmath00smit/mode/2up.

Leibniz, G. W. (1990). *Leibniz korrespondiert mit China: der Briefwechsel mit den Jesuitenmissionaren (1689–1714)* (R. Widmaier, Ed.). Frankfurt am Main: V. Klostermann.

Lesne, A. (2007). The discrete versus continuous controversy in physics. *Mathematical Structure in Computer Science*(17), 185–223.

Ligonnière, R. (1992). *Prehistoria i historia komputerów*. Wrocław: Ossolineum.

Marciszewski, W. (Ed.). (1981). *Dictionary of logic as applied in the study of language: Concepts methods theories*. The Hague-Boston-London: Martinus Nijhoff Publishers.

Marciszewski, W., & Stacewicz, P. (2011). *Umysł — komputer — Świat: O zagadce umysłu z informatycznego punktu widzenia* (prof. Leonard Bolc, Ed.). Warszawa: Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT.

Martin, M., & Augustine, K. (Eds.). (2015). *The myth of an afterlife: The case against life after death*. Lanham, MD: Rowman & Littlefield Publishers.

Mazur, J. C. (2014). *A short history of mathematical notation and its hidden powers*. Princeton: Princeton University Press.

Menninger, K. (1934). *Zahlwort und Ziffer: Aus der Kulturgeschichte unserer Zahlsprache, unserer Zahlschrift und des Rechenbrettes*. Breslau: Ferdinand Hirt.

Menninger, K. (1958). *Zahlwort und Ziffer: Eine Kulturgeschichte der Zahl* (2nd ed., Vols. 1–2). Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht. (First edition: (Menninger, 1934))

Menninger, K. (1969). *Number words and number symbols: A cultural history of numbers*. Cambridge, MA: M.I.T. Press. (Translation of (Menninger, 1958))

Newton, I. (1675). *Letter from sir Isaac Newton to Robert Hooke*. `http://digitallibrary.hsp.org/index.php/Detail/Object/Show/object_id/9285`. Historical Society of Pennsylvania.

Newton, I. (1687). *Philosophiæ naturalis principia mathematica*. London: Jussu Societatis Regiæ ac Typis Josephi Streater. Prostat apud plures Bibliopolas. `http://www.gutenberg.org/ebooks/28233`. (Project Gutenberg)

Saresberiensis, I. (1159). *Metalogicus* (J. B. Hall, Ed.). Logic Museum. `http://www.logicmuseum.com/wiki/Authors/John_of_Salisbury/Metalogicon`.

Shannon, C. E. (1958). Von Neumann's contributions to automata theory.

Bull. Amer. Math. Soc.(3, Part 2), 123–129. https://projecteuclid.org/euclid.bams/1183522376.

Shirley, J. W. (1951). Binary numeration before Leibniz. *American Journal of Physics*, *19*(8), 452–454.

Sibley, A. (2013). Lessons from Augustine's *De Genesi ad Litteram—Libri Duodecim*. *Journal of Creation*, *27*(2), 71–77. https://creation.com/images/pdfs/tj/j27_2/j27_2_71-77.pdf.

Strogatz, S. (2019). *Infinite powers: How calculus reveals the secrets of the universe*. Boston, Mass.: Houghton Mifflin Harcourt.

Swade, D. (2002). *The difference engine: Charles Babbage and the quest to build the first computer*. Penguin Books.

Swetz, F. J. (2003). Leibniz, the *Yijing*, and the religious conversion of the Chinese. *Mathematics Magazine*, *76*(4), 276–291.

Swift, J. (1892). *Gulliver's travels into several remote nations of the world* (D. Price, Ed.). London: George Bell and Sons. http://www.gutenberg.org/ebooks/829.

Swift, J. (2020). *Podróże Guliwera* (P. C. Aleksandra Sekuła, Ed.). Fundacja Nowoczesna Polska. https://wolnelektury.pl/szukaj/?q=guliwera.

Tegmark, M. (2008). The mathematical universe. *Foundations of Physics*, *38*(2), 101–150.

Tegmark, M. (2014). *Our mathematical universe*. New York: Knopf.

Trzęsicki, K. (2006a). From the idea of decidability to the number Ω. *Studies in Grammar, Logic and Rhetoric*, *9*(22), 73–142. http://logika.uwb.edu.pl/studies.

Trzęsicki, K. (2006b). Leibniza idea systemu binarnego. In J. Kopania & H. Święczkowska (Eds.), *Filozofia i myśl społeczna XVII w.* (pp. 183–203). Białystok.

Trzęsicki, K. (2006c). Leibnizjańskie inspiracje informatyki. *Filozofia Nauki*, *55*(3), 21—48.

Trzęsicki, K. (2016). Can AI be intelligent? *Studies in Logic, Grammar and Rhetoric*, *61*(48), 103–131.

Trzęsicki, K. (2020a). Idea of artificial intelligence. *Studia Humana*, *9*(3/4), 37–65.

Trzęsicki, K. (2020b). Idea sztucznej inteligencji. *Filozofia i Nauka. Studia filozoficzne i interdyscyplinarne*, *8*, 69–96. (Zeszyt monotematyczny pod redakcją Małgorzaty Czarnockiej i Mariusza Mazurka)

Turing, A. M. (1936–37). On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem. *Proceedings of the London Mathematical Society*, *42*(Series 2), 230–265.

Turing, A. M. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind: A Quartely Review of Psychology and Philosophy*, *59*(236), 433–460. Retrieved from www.csee.umbc.edu/courses/471/papers/turing.pdf

Turing, A. M. (1952). The chemical basis of morphogenesis. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, *237*(641), 37–72.

von Neumann, J. (1958). *The computer and the brain* (1st ed.). New Haven: Yale University Press. (Third edition (August 28, 2012). Foreword by Ray Kurzweil)

von Neumann, J. (1963). The general and logical theory of automata. In A. H. Taub (Ed.), *Collected works* (Vol. V, pp. 288–328). London: Pergamon Press.

von Neumann, J., & Burks, A. W. (1966). *Theory of self-reproducing automata*. Urbana: University of Illinois Press.

Westfall, R. S. (1983). *Biography of Isaac Newton*. Cambridge: Cambridge Univeristy Press.

Wheeler, J. A. (1989). Information, physics, quantum: The search for links. In *Proceedings III International Symposium on Foundations of Quantum Mechanics* (pp. 354–386). Tokyo.

Whitehead, A. N. (1911). *An introduction to mathematics*. London: Williams and Norgate. https://archive.org/details/introductiontoma00whitiala.

Wolfram, S. (2002). *A new kind of science*. Champaign, IL: Wolfram Media. http://www.wolframscience.com/nks/.

Wouk, H. (2010). *The language God talks: On science and religion*. London: Little, Brown and Company.

Zuse, K. (1967). Rechnender Raum. *Elektronische Datenverarbeitung*, *8*, 336–344. https://www.informationphilosopher.com/solutions/scientists/zuse/Rechnender_Raum.pdf.

Zuse, K. (1969). *Rechnender Raum: Schriften zur Datenverarbeitung*. Braunschweig: Vieweg & Sohn. (Przekład na angielski (Zuse, 1970))

Zuse, K. (1970, February). *Calculating space* (Technical Translation AZT-70-164-GEMIT No. MA 02139.PDF). Cambridge, MA: MIT.

Zuse, K. (2010). *Der Computer: Mein Lebenswerk* (5. unveränd. Aufl. ed.). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. (Bearbeitet von Konrad Zuse, Friedrich L. Bauer, H. Zemanek)

Zuse, K. (2012a). *Calculating space ("Rechnender Raum")*. World Scientific. https://www.mathrix.org/zenil/ZuseCalculatingSpace-GermanZenil.pdf. (Followed by an Afterword by Adrian German and Hector Zenil)

Zuse, K. (2012b). Nature as computation. In *A computable universe: Understanding & exploring* (1st. re-edition1 written in LaTeX by A. German and H. Zenil ed.). World Scientific. https://pdfs.semanticscholar.org/7855/c53d983e816765f5a6c637814768897d903b.pdf. (Followed by an Afterword by Adrian German and Hector Zenil)